

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



DAĞITIM VE ORTA GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİN İŞÇİLİK
MALİYETLERİNİN ELEKTRİK VE MEKANİK TASARIM
KRİTERLERİNE GÖRE HESAPLANABİLMESİ İÇİN BİR
YAZILIM GELİŞTİRİLMESİ VE DOĞRULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULLAH CİCİBAŞ

BALIKESİR, MAYIS-2017

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**DAĞITIM VE ORTA GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİN İŞÇİLİK
MALİYETLERİNİN ELEKTRİK VE MEKANİK TASARIM
KRİTERLERİNE GÖRE HESAPLANABİLMESİ İÇİN BİR
YAZILIM GELİŞTİRİLMESİ VE DOĞRULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULLAH CİCİBAŞ

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç.Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN (Danışman)

Prof. Dr. Rızvan EROL

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Ahmet Beyazıt OCAKTAN

BALIKESİR, MAYIS-2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Abdullah CİCİBAŞ tarafından hazırlanan “DAĞITIM VE ORTA GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİN İŞÇİLİK MALİYETLERİNİN ELEKTRİK VE MEKANİK TASARIM KRİTERLERİNE GÖRE HESAPLANABİLMESİ İÇİN BİR YAZILIM GELİŞTİRİLMESİ VE DOĞRULANMASI ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 03.05.2017 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı olarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN



Üye

Prof. Dr. Rızvan EROL



Üye

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Ahmet Beyazıt OCAKTAN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

ÖZET

**DAĞITIM VE ORTA GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİN İŞÇİLİK
MALİYETLERİNİN ELEKTRİK VE MEKANİK TASARIM
KRİTERLERİNE GÖRE HESAPLANABİLMESİ İÇİN BİR YAZILIM
GELİŞTİRİLMESİ VE DOĞRULANMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ABDULLAH CİCİBAŞ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(TEZ DANIŞMANI : YRD. DOÇ. DR. ASLAN DENİZ KARAOĞLAN)
BALIKESİR, 2016**

Siparişe göre proje bazlı üretim yapan emek yoğun işletmelerde pek çok ürün gerçekte ilk defa üretilmektedir ve bu ürünlere ilişkin maliyet tahmininin üretimden önce müşteriye fiyat teklifi verirken düşük sapma ile tahmin edilebilmesi rekabet için vazgeçilmezdir. Çünkü müşteriye fiyat teklifi üretime başlamadan önce sipariş aşamasında verilmekte ancak gerçek üretim maliyetleri üretim gerçekleştiikten sonra ortaya çıkmaktadır. Gerçekleşen maliyetlerin fiyat teklifinin üstünde olması durumunda firma zararına çalışmış olmaktadır. Zararına çalışmanın önüne geçmek için yüksek fiyat teklifi verilmesi durumunda ise yoğun rekabet ortamında siparişin kaçırılma tehlikesi söz konusu olmaktadır. Maliyet hesabında kullanılan üç ana kalem; hammadde ve malzeme maliyetleri, direkt işçilik maliyeti ve genel giderlerdir. Emek yoğun çalışılan işletmelerde işçilik maliyeti hariç diğer iki kalemi düşük sapma ile tahmin etmek mümkündür. O halde düşük sapma ile maliyetlerin üretimden önce tahmin edilebilmesi için, ilk defa üretilecek bir ürünün işçilik maliyetinde müşteri şartnamelerindeki teknik özellikler dikkate alınarak doğru bir şekilde üretimden önce tahmin edilebilmesi önemlidir. Bu tezde, işletmede ilk defa üretilecek ürünlerin akış zamanlarını, işçilik maliyetlerini ve termin zamanlarını üretimden önce düşük bir sapmayla tahmin etmek amacıyla kullanılacak istatistiksel modelleme ve simülasyon tabanlı bir arayüz yazılımı geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

ANAHTAR KELİMELEER: yanıt yüzey yöntemi, akış zamanı, proje bazlı üretim, atölye tipi üretim, işçilik maliyeti.

ABSTRACT

SOFTWARE DEVELOPMENT AND VERIFICATION FOR CALCULATING LABOR COSTS OF DISTRIBUTION AND MEDIUM POWER TRANSFORMERS ACCORDING TO ELECTRICAL AND MECHANICAL DESIGN CRITERIA

MASTER'S THESIS

ABDULLAH CİCİBAŞ

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
INDUSTRIAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: ASSIST.PROF.DR. ASLAN DENİZ KARAOĞLAN)

BALIKESİR, 2016

In the craft production systems which do project-based production by order, plenty of the products are produced for the first time. In addition, when tendering (price offering) customer before the production, estimating the cost of these products with a small deviation is very important. In that, the tendering is done before the production but the real production cost is calculated after the production. If the real cost that is calculated after the production is higher than the price offer, the firm will lose money. When high price is offered to customers in order to prevent the financial loss, the loss of the order is possible in this competition environment. The three main factors that are used in the calculation of cost are raw material and material costs, direct labor cost and general expense. In the craft production systems, estimating the two factors except the labor cost with a small deviation is possible. Thus, in order to estimating the costs before the production with a small deviation, estimating the labor cost of the products that are produced for the first time according to technical specifications properly is important. In this thesis, the main purpose is improving the statistical modelling and simulation based interface software. This software will be used for estimating the flow time, labor cost, practising time of the products that are produced for the first time with a small deviation before the production.

KEYWORDS: response surface methodology, flow time, project-based production, workshop-type manufacturing, labor cost

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|--|-------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| ŞEKİL LİSTESİ | v |
| TABLO LİSTESİ | vii |
| RESİM LİSTESİ | viii |
| SEMBOL LİSTESİ | ix |
| KISALTMALAR LİSTESİ | x |
| ÖNSÖZ | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Problemin Tanımı | 1 |
| 1.2 Çalışmanın Amaçları | 5 |
| 1.3 Çalışmanın Kapsamı Kısıtlar ve Varsayımlar | 8 |
| 1.4 Çalışmanın Özgün Katkısı | 9 |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI | 11 |
| 3. MATERYAL VE METOT | 17 |
| 3.1 Materyal | 17 |
| 3.1.1 Çalışmada Kullanılan Veriler | 17 |
| 3.2.1 Çalışmada Kullanılan Yazılımlar | 18 |
| 3.2. Metot | 19 |
| 3.2.1 Çalışmada Kullanılan Metotlar | 19 |
| 3.2.1.1 Matematiksel Modelleme ve Deney Tasarımı | 20 |
| 3.2.1.2 Kullanılan Olasılık Dağılımları | 21 |
| 3.2.1.3 Simülasyon | 24 |
| 4. UYGULAMA | 26 |
| 4.1 Sistemin Tanımı | 26 |
| 4.2 Çalışmanın Kapsamı ve Uygulama Adımları | 28 |
| 4.3 Matematiksel Modelleme ve İstatistiksel Veri Analizi | 31 |
| 4.3.1 Çekirdek Fabrikası İşlem Süreleri Analizi | 32 |
| 4.3.2 Sarım Atölyesi İşlem Süreleri Analizi | 33 |
| 4.3.3 Montaj Atölyesi İşlem Süreleri Analizi | 35 |
| 4.3.4 Son İşlemler Atölyesi İşlem Süreleri Analizi | 37 |
| 4.4 Simülasyon Çalışmaları | 39 |
| 4.4.1 Çekirdek Fabrikası Arena Simülasyon Modeli | 39 |
| 4.4.2 Sarım Atölyesi Arena Simülasyon Modeli | 49 |
| 4.4.3 Montaj Atölyesi Arena Simülasyon Modeli | 58 |
| 4.4.4 Son İşlemler Arena Simülasyon Modeli | 62 |
| 4.5 Arayüz Yazılımı | 66 |
| 4.6 Yazılımın Doğrulanması | 68 |

| | |
|--|----|
| 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER | 74 |
| 5.1 Çalışma Özeti | 74 |
| 5.2 Elde Edilen Sonuçlar | 76 |
| 5.3 Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler | 76 |
| 6. KAYNAKLAR | 77 |
| 7. EKLER | 83 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|-----|
| Şekil 4.1: Yağlı tip transformatör için üretim iş akışı | 26 |
| Şekil 4.2: Dağıtım trafosu çekirdek üretim hattı simülasyonu genel görünüm | 39 |
| Şekil 4.3: Çekirdek sipariş ve tasarım bilgileri Excel dosyası ekran görüntüsü..... | 40 |
| Şekil 4.4: Submodel stok ve sipariş bilgilerinin okunması..... | 40 |
| Şekil 4.5: Submodel çekirdek sipariş bilgilerinin okunmasının detayı | 41 |
| Şekil 4.6: Submodel aynı trafoların gruplandırılması..... | 41 |
| Şekil 4.7: Çekirdek iş varlıklarının oluşturulması | 42 |
| Şekil 4.8: Aynı grup işlerin atölyeye gönderilmesi | 43 |
| Şekil 4.9: Dilme stoklarının yeterli olup/olmadığının kontrolü..... | 43 |
| Şekil 4.10: Dilme stok kontrol detay | 44 |
| Şekil 4.11: Submodel dilme süreci genel görünüm | 44 |
| Şekil 4.12: Submodel dilme süreci detay görünüm | 45 |
| Şekil 4.13: Submodel dilme süreci detay görünüm | 45 |
| Şekil 4.14: Dilme kademe eşleştirme detay..... | 46 |
| Şekil 4.15: 440 Makinaya dilmelerin taşınması | 46 |
| Şekil 4.16: 440 Makinada palet kullanımı | 47 |
| Şekil 4.17: Dizim işlerinin otomatik dizim tezgâhlarına atanması..... | 48 |
| Şekil 4.18: Dizim işlerinin manuel dizim tezgâhlarına atanması | 49 |
| Şekil 4.19: Dağıtım trafosu sarım hattı simülasyonu genel görünüm | 50 |
| Şekil 4.20: Sarım sipariş ve tasarım bilgileri Excel dosyası ekran görüntüsü..... | 50 |
| Şekil 4.21: Submodel sarım sipariş bilgilerinin okunması | 51 |
| Şekil 4.22: Submodel sarım sipariş bilgilerinin okunmasının detayı | 51 |
| Şekil 4.23: Sarım özelliklerinin işlere atanması | 52 |
| Şekil 4.24: Yuvarlak bobin AG/YG sarım işlemleri | 53 |
| Şekil 4.25: AG kat sarım simülasyonu | 53 |
| Şekil 4.26: YG Emaye kat sarım simülasyonu | 54 |
| Şekil 4.27: YG profil kat sarım simülasyonu | 55 |
| Şekil 4.28: AG bant sarım simülasyonu | 56 |
| Şekil 4.29: Oval bobin AG/YG sarım işlemleri..... | 57 |
| Şekil 4.30: Çekirdek bobin eşleştirme | 58 |
| Şekil 4.31: Çekirdek bobin montaj genel arena modeli..... | 59 |
| Şekil 4.32: Çekirdek bobin D401 | 59 |
| Şekil 4.33: Çekirdek bobin D403 | 60 |
| Şekil 4.34: Çekirdek bobin D404 | 61 |
| Şekil 4.35: Son işlemler arena modeli genel görünüm | 62 |
| Şekil 4.36: Son işlemler arena modeli genel görünüm | 63 |
| Şekil 4.37: Son işlemler D550 | 63 |
| Şekil 4.38: Son işlemler D555 | 64 |
| Şekil 4.39: Son işlemler D560 | 65 |
| Şekil 4.40: Son işlemler D580 | 66 |
| Şekil C.1: Arena Input Analyzer ile girdi analizi | 98 |
| Şekil C.2: Arena Input Analyzer ile girdi analizi | 109 |
| Şekil C.3: Arena Input Analyzer ile girdi analizi | 111 |

TABLO LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|-----|
| Tablo 4.1: Çekirdek fabrikası için operasyonlar bazında elde edilen matematiksel modeller ve olasılık dağılımları..... | 33 |
| Tablo 4.2: Sarım atölyesi için operasyonlar bazında elde edilen matematiksel modeller ve olasılık dağılımları..... | 34 |
| Tablo 4.3: Montaj atölyesi için operasyonlar bazında elde edilen matematiksel modeller ve olasılık dağılımları..... | 36 |
| Tablo 4.4: Son işlemler atölyesi için operasyonlar bazında elde edilen matematiksel modeller ve olasılık dağılımları..... | 38 |
| Tablo 4.5: Çekirdek fabrikası için gerçekleşen süreler ve %95 güven aralıkları..... | 69 |
| Tablo 4.6: Sarım atölyesi için gerçekleşen süreler ve %95 güven aralıkları..... | 70 |
| Tablo 4.7: Montaj atölyesi için gerçekleşen süreler ve %95 güven aralıkları..... | 71 |
| Tablo 4.8: Son işlemler atölyesi için gerçekleşen süreler ve %95 güven aralıkları..... | 72 |
| Tablo 4.9: İş gruplarının gerçekleşen termin süreleri ve % 95 güven aralıkları..... | 73 |
| Tablo A.1: Literatür Taraması..... | 84 |
| Tablo C.1: D101 operasyonu girdi verileri..... | 93 |
| Tablo C.2: D101 operasyonu için doğrulama verileri..... | 94 |
| Tablo C.3: D102 operasyonu girdi verileri..... | 95 |
| Tablo C.4: D102 operasyonu için doğrulama verileri..... | 96 |
| Tablo C.5: D201 operasyonu girdi verileri..... | 99 |
| Tablo C.6: D201 operasyonu için doğrulama verileri..... | 101 |
| Tablo C.7: D203 operasyonu girdi verileri..... | 102 |
| Tablo C.8: D203 operasyonu için doğrulama verileri..... | 103 |
| Tablo C.9: D204 operasyonu girdi verileri..... | 104 |
| Tablo C.10: D204 operasyonu için doğrulama verileri..... | 106 |
| Tablo C.11: D206 operasyonu girdi verileri..... | 107 |
| Tablo C.12: D206 operasyonu için doğrulama verileri..... | 108 |
| Tablo C.13: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri..... | 114 |
| Tablo C.14: Deney tasarımı..... | 115 |
| Tablo C.15: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri..... | 127 |
| Tablo C.16: Deney tasarımı..... | 128 |
| Tablo C.17: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri..... | 143 |
| Tablo C.18: Deney tasarımı..... | 144 |
| Tablo C.19: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri..... | 150 |
| Tablo C.20: Deney tasarımı..... | 151 |
| Tablo C.21: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri..... | 159 |
| Tablo C.22: Deney tasarımı..... | 160 |
| Tablo C.23: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri..... | 171 |
| Tablo C.24: Deney tasarımı..... | 172 |

RESİM LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|-----|
| Resim 4.1: Örnek bir yağlı tip transformatör | 27 |
| Resim D.1: Program açılış ekran görüntüsü | 178 |
| Resim D.2: Mevcut sipariş listesi | 179 |
| Resim D.3: Kademe parametreleri değer giriş ekranı | 180 |
| Resim D.4: Parametre girişi sonrası arayüz görüntüsü | 180 |
| Resim D.5: Sonuç ekranı | 181 |
| Resim D.6: Senaryo analizi veri kümesi seçim ekranı | 182 |
| Resim D.7: Senaryo analizi seçilmiş veri kümesi listesi | 183 |
| Resim D.8: Senaryo analizi sonuç listesi | 183 |

SEMBOL LİSTESİ

| | |
|-----------------------|--|
| Y | : Çıktı değişkeni |
| X_i | : Girdi değişkenleri (faktör), |
| β₀ | : Regresyon denkleminde sabit terim |
| β_i | : Regresyon denkleminde lineer terimlerin regresyon katsayıları |
| β_{ii} | : Regresyon denkleminde karesel terimlerin regresyon katsayıları |
| β_{ij} | : Regresyon denkleminde etkileşim terimlerinin regresyon katsayıları |
| ε | : Regresyon denkleminde artık terimi |
| f(x) | : Olasılık yoğunluk fonksiyonu |
| a | : Minimum değer |
| b | : Maksimum değer |
| m | : Mod değeri |
| λ | : Ölçek parametresi |
| μ | : Normal dağılım ortalaması |
| σ | : Standart sapma |
| α | : Alfa şekil parametresi |
| β | : Beta fonksiyonu içerisindeki Beta şekil parametresi |
| k | : Şekil parametresi |

KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|----------------|---|
| ADRES | : Adaptif çıktı oranı üstel düzeltme modeli (adaptive response rate exponential smoothing) |
| ALL | : İzin (allowance) |
| ANN | : Yapay sinir ağı (artificial neural network) |
| ANOVA | : Varyans analizi (analysis of variance) |
| BASIC | : Tıkanıklık bilgisinin olmaması kuralı (no congestion information) |
| BPN | : Geri yayımlı yapay sinir ağları (back propagation network) |
| COFS | : Tıkanıklık ve operasyon akış örnekleme (congestion and operation flowtime sampling) |
| CON | : Sabit izin kuralı (constant allowance) |
| CDF | : Birikimli dağılım fonksiyonu kuralı (cumulative distribution function) |
| CR | : Kritik miktar kuralı (critical ration) |
| CRWQE | : Kuyruk zamanı tahmini ile birlikte CR (CR with queueing time estimate) |
| DD | : İşin tamamlanma zamanı (due date) |
| DTWK | : Dinamik TWK kuralı (dynamic total work content method) |
| DPPW | : Dinamik işlem + bekleme kuralı (dynamic processing plus waiting) |
| EDD | : Erken teslim zamanı (earliest due date) |
| FCFS | : İlk gelen ilk işlem görür (first come first served) |
| FCFSWQE | : Kuyruk zamanı tahmini ile birlikte FCFS (FCFS with queueing time estimate) |
| FF | : Yapılabilirlik fonksiyonu (feasibility function) |
| FT | : İşin akış zamanı (flowtime) |
| GA | : Genetik algoritma (genetic algorithm) |
| JIS | : JIQ kuralında olduğu gibi rota üzerindeki işlerin sayısı yerine, sistemdeki işlerin sayısını kullanan kural |
| JIQ | : Sadece kuyruktakiler kuralı (Just in queue) |
| LDP | : Son veri noktası (last data point) |
| LST | : En küçük fazlalık zaman kuralı (least slack time) |
| LSTWQE | : Kuyruk zamanı tahmini ile birlikte LST (LST with queueing time) |
| LNQ | : Kuyruktaki en çok sayı kuralı (largest number in queue) |
| MAD | : Ortalama mutlak sapma (mean absolute deviation) |
| MAL | : Ortalama mutlak gecikme (mean absolute lateness) |
| MAPE | : Ortalama mutlak yüzdesel akış zamanı tahmin hatası (mean absolute percent flowtime prediction error) |
| MDD | : Modifiye edilmiş teslim zamanı kuralı (modified due date) |
| MOD | : Modifiye edilmiş operasyon tamamlanma zamanı kuralı (modified operation due date) |
| MSE | : Ortalama hata kare (mean square error) |
| MPE | : Ortalama yüzdesel hata (mean percent error) |
| MSL | : Ortalama kare gecikme (mean square lateness) |
| MT | : Ortalama gecikme (mean tardiness) |
| NOP | : Operasyon sayısı kuralı (number of operations) |
| NOPS | : İşteki operasyon sayısı kuralı (number of operations in a job) |
| OBE | : Operasyon tabanlı tahminleme (operation based estimation) |

| | |
|---------------|--|
| ODD | : En erken operasyon tamamlanma zamanı kuralı (earliest operation due date) |
| ODDWQE | : Kuyruk zamanı tahmini ile birlikte ODD (ODD with queueing time estimate) |
| OFS | : Operasyon akış çizelgeleme (operation flowtime scheduling) |
| OSLK | : İşlem gevşekliği kuralı (operation slack) |
| PCA | : Ana bileşenler analizi (Principle component analysis) |
| PPW | : İşlem+bekleme kuralı (process plus waiting) |
| PWF | : Oransal işyükü fonksiyonu kuralı (proportional workload function) |
| RAN | : Rassal izin (random allowance) |
| RML | : Yanıt (çıkıtı) haritalama kuralı (response mapping rule) |
| RMSE | : Kök ortalama kare akış zamanı tahmin hatası (root mean square flowtime prediction error) |
| RSM | : Yanıt yüzey yöntemi (response surface methodology) |
| RTWK | : Kural tabanlı TWK (rule based TWK) |
| SDL | : Gecikmenin standart sapması (standard deviation of lateness) |
| SLK | : Eşit gevşeklik kuralı (equal slack) |
| SI | : En kısa en yakın işlem zamanı (shortest imminent processing time) |
| SI* | : SI kuralının Eilon ve diğerleri 1975, tarafından önerilen farklı bir versiyonu |
| SOPT | : En kısa operasyon işlem zamanı kuralı (shortest operation processing time) |
| SPT | : En kısa işlem zamanı (shortest processing time) |
| SPTWQE | : Kuyruk zamanı tahmini ile birlikte SPT (SPT with queueing time estimate) |
| TWK | : Toplam iş içeriği kuralı (the total work content) |
| TWD | : İş içeriği ile oransal izinler kuralı (allowances proportional to work content) |
| WIQ | : İşin rotasındaki işlem merkezlerinde kuyruktaki toplam iş sayısı |

ÖNSÖZ

Bu tez ile siparişe göre proje bazlı üretim yapan emek yoğun işletmelerde sipariş teklif aşamasında ürün teknik özelliklerinden yola çıkarak işçilik sürelerini, maliyetlerini ve termin zamanlarını dinamik ve güncel atölye ortamını göz önüne alarak hesaplayacak bir arayüz yazılımı geliştirilmiştir. Bu yolda ilerlerken yüksek lisans öğrenimim süresince bana her konuda yardımcı olan ve tezin yürütülmesinde yol gösteren danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Ayrıca tezin hazırlanmasında ki her aşamada yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen Yrd.Doç.Dr. Mustafa Ahmet Beyazıt OCAKTAN'a, Yrd.Doç.Dr. Demet Gönen'e, Öğr.Gör. Emine UÇMUŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 0682.STZ.2014 kodlu SANTEZ projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmaya olan desteklerinden ötürü Balıkesir Elektromekanik Sanayi Tesisleri A.Ş. (BEST)'ye ve projenin hazırlanmasında değerli katkılarıyla yol gösteren Prof.Dr. Mehmet TÜMAY'a teşekkür ederim.

Projenin yürütümü esnasında katkılarından dolayı çalışma arkadaşlarım Furkan DIRMİKÇİ ve Mert TURAN'a teşekkür ederim.

Son olarak çalışmalarımda beni her zaman destekleyen Babam Yüksel CİCİBAŞ'a, annem Remziye CİCİBAŞ'a, sevgili eşim Sacide'ye, varlıklarıyla bana güç veren sevgili çocuklarım Zeynep Hüma, Ahmet Vefa, Mustafa Enes ve Ağustos ayında ailemize katılacak olan ismine daha karar veremediğimiz oğlumuzla teşekkür ederim.

Abdullah CİCİBAŞ

1.GİRİŞ

1.1 Problemin Tanımı

Üretilcek bir ürünün maliyetinin ne olacağını üretimden önce müşteriye fiyat teklifi verme aşamasında düşük bir sapma ile tahmin edilebilmesi, yoğun rekabetin yaşandığı üretim sektöründe önemli bir sorundur. Çünkü fiyat teklifleri müşterilere üretimden önce verilmekte, gerçek üretim maliyetleri de ancak üretim tamamlandığında ortaya çıkmaktadır. Verilen fiyat teklifinin gerçekleşenin altında kalması durumunda firma zararına çalışmış olmakta, tersi durumda ise siparişi kaçırma ve rakiplere kaptırma tehlikesi ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla üretime başlamadan önce maliyetlerin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi önemlidir.

Atölye tipi proje esaslı çalışan ve siparişe göre üretim yapan işletmelerde, seri üretimin aksine üretimden önce maliyet tahmini daha da zordur. Çünkü üretilcek ürünlerin pek çoğu müşteri isteklerine göre farklılaşan ürünlerdir ve ilk defa üretilcek olmalarından dolayı bunların üretim süreleri ve maliyetlerine ilişkin geçmiş veri bulunmamaktadır. Bu tip siparişlerin alınması durumunda geçmişte yapılan benzer üretimlerden yola çıkarak işçilik süreleri ve maliyetleri hesaplanmaya çalışılmaktadır. Özellikle emek yoğun çalışılan sektörlerde makine zamanlarının daha düşük ve direkt işçilik zamanının daha ağırlıklı olmasından dolayı, alınan bir siparişin üretimden önce maliyetinin hesaplanması daha da güçleşmektedir. Maliyet hesabında kullanılan üç ana kalem; hammadde ve malzeme maliyetleri, direkt işçilik maliyeti ve genel giderlerdir. Hammadde ve malzeme maliyetlerini üretimden önce tasarım ve malzeme listelerini kullanarak düşük bir sapma ile tahmin etmek mümkündür. Genel giderler ise faaliyet tabanlı bir muhasebe tutulmuyorsa, belirli anahtarlar (üretim süresi, sipariş sayısı vb.) kullanılarak ürünlere dağıtılmaktadır. Dolayısıyla üretimden önce teklif aşamasında müşteriye en doğru fiyat teklifi vermede gözlenen sorun işçilik sürelerinin doğru bir şekilde belirlenememesidir. İşçilik maliyetlerinin ve termin tarihlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi ise işin akış zamanının belirlenmesi ile mümkündür.

Literatürdeki geçmiş çalışmalar incelendiğinde işin akış zamanının ve/veya termin tarihinin belirlenmesinde üç ana yaklaşım göze çarpmaktadır. Bunlardan birincisi analitik yöntemlerdir. Bu yöntemler küçük boyutlu problemler için optimum sonuç verirken, problem büyüdükçe çözüm elde etmek güçleşmektedir. Çünkü çok sayıdaki kısıt fonksiyonu ve amaç fonksiyonu problemin çözümünü güçleştirmektedir. Bu sorunu aşmak ve sistemi basitleştirmek için yapılan varsayımlar ise problem gerçek dinamik atölye koşullarından uzaklaştırmaktadır. Optimum olmasada optimuma yakın sonuçları elde etmek için yaklaşım algoritmaları ve yapay zekâ teknikleri geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Bu yöntemler optimum yerine optimuma yakın sonuçları vermektedir. Ayrıca bu yöntemlerin de çoğunlukla karmaşık çözüm veya eğitim algoritmaları vardır ve yine analitik yöntemlerde olduğu gibi problemi basitleştirmek için yapılan varsayımlar sistemi dinamik atölye koşullarından uzaklaştırmaktadır. Literatürdeki üçüncü yaklaşım ise istatistik, regresyon, olasılık ve/veya simülasyondan yararlanılarak gerçekleştirilen çözümlerdir. Dinamik atölye koşullarında sonuç elde etmede oldukça etkili olan bu yöntemde yaklaşım algoritmaları ve yapay zekâ tekniklerinde olduğu gibi optimum olmasa da optimuma yakın sonuçlar elde edilebilmektedir. Ayrıca termin tarihi hesabında simülasyon diğer yöntemlere göre daha etkin sonuçları üretmektedir.

Tezin uygulaması Balıkesir’de faaliyet gösteren Balıkesir Elektromekanik Sanayi Tesislerinde (BEST A.Ş.) gerçekleştirilmiştir. 75 Ülkeye ihracat yapan BEST A.Ş.’nin ürün gamında standart, akım doğrultucu, rüzgâr türbini transformatörleri ve yük altında kademe değiştiricili orta güç transformatörleri bulunmakta olup müşteri ve ülke şartnamelerine göre ürün çeşitliliği oldukça fazladır. Aynı güç ve gerilim değerine sahip iki transformatörün teknik şartname şartlarındaki farklılıktan dolayı tasarımları tamamen değişmektedir. Bu değişiklikler beraberinde her seferinde farklı mühendislik çalışmalarını zorunlu kılmakta, bu çalışmalarda şartnameye bağlı özel tasarımlar gerektirmektedir. Tasarımlardaki bu farklılıklar sebebi ile hem kullanılan malzemeler hem de işçilik süreleri standardize edilememektedir.

Müşteriye fiyat teklifi verilecek transformatörün malzeme fiyatlarının belirlenmesi rutin bir satın alma faaliyeti olup öngörülen/gerçekleşen malzeme maliyetleri arasındaki fark yaklaşık $\pm\%2$ dir. Dolayısıyla öngörülen malzeme

maliyetlerindeki fark yüksek hassasiyetlerle hesaplanabildiği için kabul edilebilir seviyelerdedir.

Transformatör maliyetlerinin yaklaşık olarak %20 - %25'ini işçilik maliyetleri oluşturmaktadır. Dağıtım ve orta güç transformatör satışlarındaki kar marjları yaklaşık %3 -%8 arasındadır. Mevcut durumda müşteriye fiyat teklifi verirken, işçilik sürelerinin yüksek hassasiyet ve doğrulukta teklif aşamasında öngörülememesi önemli bazı sorunlar ortaya çıkartmaktadır.

Bu sorunlardan ilki, üretime başlamadan önce müşteriye fiyat teklifi verirken öngörülen işçilik maliyetinin üretim tamamlandığında gerçekleşenden düşük verilmesi ve buna bağlı olarak zararına veya beklenenden daha düşük karla transformatör imal edilmesidir. Diğer önemli bir sorun ise işçilik maliyetinin olması gerekene göre daha yüksek tahmin edilmesine bağlı olarak yüksek bir fiyat teklifi verilmesi ve siparişin rakip uluslararası firmalara kaptırılmasıdır. Bu kriterler göz önüne alındığında işçilik sürelerinin doğru tahmin edilebilmesinin firmamızın karlılığına ve rekabet gücüne doğrudan etkisi ortaya çıkmaktadır.

Piyasada firmanın yaşadığı bu sorunu çözebilecek hazır bir yazılım bulunmamaktadır. Piyasada sunulan hazır yazılımlar belirli varsayımlar altında genel optimizasyon algoritmalarından bir veya birkaçını alt yapısında çalıştırarak, firmaların proseslerini ve dinamik işleyişlerini dikkate almadan genel çözümler üretmektedir. Bu tez ile geliştirilecek yazılım, tamamen sektörümüze özel olacak ve işçilik sürelerini 60'a yakın tasarım kriterini göz önüne alarak hesaplayabilecek yeni ve özgün bir yazılım olacaktır. Ayrıca bu yazılım firmanın kullanmış olduğu elektriksel tasarım programlarına entegre edilecek ve kullanıcılarına müşteri isteklerine göre trafo tasarımı yanında; maliyet, işlem süreleri ve bitmiş ürün teslim tarihlerini de veren komple bir yazılım halini alacaktır. Bu kriterlerin belirlenmesinde, analiz edilmesinde ve istatistiksel metotların geliştirilmesinde üniversite sanayi işbirliği çerçevesinde konusunda uzman Elektrik ve Endüstri Mühendisliği Öğretim Elemanları ile birlikte çalışılacaktır.

Bu tezin konusu dağıtım, özel ve orta güç transformatörlerinin işçilik sürelerini hesaplayabilecek yeni ve özgün bir yazılım geliştirmektir. Yapılacak uygulama çalışması ile ulaşılmak istenen hedefler ise aşağıda sunulmuştur:

- Firmanın müşterilerinin şartnameler ile talep ettiği özellikte transformatör üretebilmek amacıyla transformatörün teknik özelliklerini ortaya koyan tasarım programımıza; bu tez ile geliştirilecek yeni yazılımı entegre etmek. Bu yolla, alınan bir siparişin tasarım kriterlerinin değerlerinin ne olması gerektiğinin yanında; üretimden önce siparişe ait işlem sürelerini, maliyeti ve işin teslim tarihini de tek bir yazılımla yüksek hassasiyette hesaplabilmek.
- Firmanın karlılık ve rekabet gücünü uluslararası rakiplere karşı arttırmak.
- İş istasyonu bazında tüm işçiliklerin incelenerek katma değersiz işçilikleri belirlemek ve ortadan kaldırmak.
- Mevcut durumdaki gerçekleşen işçilik sürelerinin gerçekçi bir biçimde ölçülmesini sağlamak.
- Daha önce hiç üretilmemiş transformatörlere ait iş istasyonu bazında işçilik süreleri ve maliyetlerini geliştirilecek yazılım ile belirlemek.

Tezin uygulama bölümünün tamamlanması ile elde edilmek istenen temel amaçlar aşağıda sıralanmıştır:

- 60'a yakın tasarım kriterini göz önüne alarak firmamızın ihracat yaptığı 75 ülkenin elektrik idaresi ve özel müteahhit şartnamelerine uygun dağıtım, özel ve orta güç transformatörlerinin işçilik sürelerini hesaplayabilecek yeni ve özgün bir yazılım geliştirmek.
- Daha önce ürün gamında bulunmayan bir sipariş geldiğinde istatistiksel ve matematiksel yöntemlerden yararlanılarak geliştirilecek bu yazılım sayesinde işçilik süresini yüksek hassasiyette belirlemek ve üretime başlamadan önce teklif aşamasında transformatör maliyetlerini doğru bir şekilde tahmin etmek. Bu yolla en uygun fiyat teklifini müşteriye verebilmek.
- İşçilik sürelerinin yüksek hassasiyette hesaplanabilmesi ile yüksek fiyat teklifi vermeye bağlı sipariş kaçırmaların veya olması gerekenden düşük fiyat teklifi vererek zararına çalışma durumlarının ortadan kaldırılarak kar marjını ve sipariş sayısını arttırmak.
- Farklı imalat yöntemlerinin firmamıza getirmiş olduğu işçilik maliyet avantajlarını geliştirilecek simülasyon modelleri ile belirlemek ve kıyaslamak.
- Tez ile elde edilen sonuçları firma geneline yaygınlaştırılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması.

- Elektromekanik sektöründe mevcut durumda sezgisel olarak tahmin edilen işçilik sürelerinin, bilimsel metotlar ve geliştirilecek yazılım kullanılarak tahmin edilebilmesi sağlamak.
- Gerçekleşen tez çalışması ile endüstride eksik olan ve kullanımı ile hızlı, doğru çözümler ve fiyatlandırmalar sağlayan bir yazılım programının oluşturulması ve ticarileştirilmesinin sağlanmasıdır.

Bu tezin amacı dağıtım, özel ve orta güç transformatörlerinin işçilik sürelerini hesaplayabilecek yeni ve özgün bir yazılım geliştirmektir.

1.2 Çalışmanın Amaçları

Bu tez kapsamında, üretime başlamadan önce teklif aşamasında en doğru fiyat teklifini verebilmek amacıyla işçilik sürelerinin, işçilik maliyetlerinin ve termin zamanının regresyon ve simülasyon tabanlı yöntemlerle en doğru tahminini gerçekleştirmek üzerine bir ara yüz yazılımı geliştirilmesi için çalışılmıştır.

Emek yoğun, yüksek ciro lu ancak düşük kar marjlı çalışılan transformatör sektöründe hammadde ve malzeme maliyetlerinin dışında üretim için harcanan işçilik süresi önemli bir maliyet kalemidir ve alınan bir siparişe ne kadar işçilik süresi harcanacağı ve toplamda tamamlanma zamanının ne olacağını alan siparişin özelliklerine göre daha teklif aşamasında doğru bir şekilde belirlenebilmesi önemlidir. Çünkü tahmin edilen işçilik süresinin gerçekleşenden fazla hesaplanması müşteriye yüksek bir fiyat teklifi verilmesi ve yoğun rekabet ortamında siparişin kaçırılmasına, tam tersi durumda ise zararına veya çok daha az bir kar marjı ile siparişin alınmasına sebep olacaktır.

Sektöründeki %100 yerli sermayeli en büyük transformatör üreticisi olan BEST A.Ş.'nin fiyat teklifi verirken gerçekçi işçilik sürelerinin bilimsel yöntemlerle hesaplanması ve verebileceği en iyi fiyat teklifini vermesi siparişlerini arttıracak, sipariş kaybetme veya zararına çalışma maliyetleri en aza indirilecek, teslim tarihlerine bağlı kalınması müşteri memnuniyetini arttıracaktır. Dolayısıyla kendisi

ile birlikte yerli tedarikçilerinin de iş potansiyelini arttırarak firmaya ve ekonomiye önemli katkılar sağlanacaktır.

Tez çıktısı ile elde edilecek know-how sayesinde özellikle yurt dışındaki rakip firmalara karşı ciddi avantajlar sağlanacaktır. Tez çıktıları ulusal anlamda benzer üretim sistemlerine sahip firmaların çalışmalarına katkı sunacaktır.

Geliştirilmesi planlanan bilgisayar yazılımı ve bu yazılıma temel oluşturacak simülasyon modelleri ve matematiksel modeller ile bu modellerin oluşturulma yöntemlerinin bu tezde olduğu gibi günlük hayat problemlerine uygulanma şekli, benzer üretim süreçlerine sahip sektördeki diğer firmalara da örnek oluşturacak ve rekabet güçlerini arttıracaktır. Bu da tezin yaygın etkisi olarak öngörülmektedir.

Tez ile elde edilecek sonuçlar uluslararası veri tabanlarınca taranan akademik dergilerde yayınlattılmak amacıyla bilimsel makaleye dönüştürülecek ve elde edilen sonuçlar akademik ortamda araştırmacılarla paylaşılacaktır. Bu yolla benzer örnek problemlerin çözümüne katkı sağlanması hedeflenmektedir.

İşletmenin her bir sipariş için maliyet hesabını üretim başlamadan doğru bir şekilde belirlemesi karlılığını arttıracak ve yeni siparişler almasına imkân sağlayacaktır. İşletmenin yüksek fiyat teklifleri nedeniyle son yıllarda ihalelerde kaçırmış olduğu miktar, dağıtım transformatörleri toplam yıllık cirosunun % 15 'i civarındadır. Tez sonunda bu maliyetlerin ortadan kaldırılarak firmanın karlılığının artırılması hedeflenmektedir. Karlılığın artması devamında büyümeyi ve istihdam artışını beraberinde getirecektir. Tez kapsamında yapılacak çalışmaların ticari getirisinin tezin tamamlanmasıyla birlikte kısa süre içerisinde kendini göstermesi beklenmektedir.

Tez bitimi ile beraber elde edilecek tecrübe ve kazanımlar firma personeline bir alt yapı sağlayacaktır. Bu tez ile elde edilecek veri alt yapısı, modelleme ve simülasyon yöntemlerini kullanabilme yeteneği ve bilgi birikimi BEST A.Ş.'nin yakın gelecekte kurmayı planladığı dağıtım trafo fabrikasının minimum taşıma ve kuyrukta bekleme vb. kriterleri sağlayacak tesis yerleşiminin en doğru şekilde yapılması, üretim sisteminin planlanması ve işletimi için gerekli bilgi birikiminin oluşturulmasını sağlayacaktır. Ayrıca işin tamamlanma zamanının tahmini ile ilgili

elde edilecek deneyim, BEST A.Ş.'nin diğler tip ürünleri için gerçekleştirilmesi planlanan projelerinde de kullanılacaktır.

Literatür taramasında yer alan çalışmalar ile işin tamamlanma zamanının doğru bir şekilde tahmin edilmesinin önemi hakkında farkındalık uluslararası alanda artmakla birlikte, ülkemizde özellikle proje bazlı üretim yapan firmalarda bu faaliyetler istenilen düzeyde değildir. Bunun sonucu olarak kapasitelerin etkin kullanılmaması, işin tamamlanma zamanındaki belirsizlikler vb. sebeplerle maliyetlerin artması ve fiyat teklifi oluşturma sürecinde karşılaşılan güçlükler firmaların rekabet güçlerini azaltmaktadır. Bu belirtilenler doğrultusunda tez neticesinde oluşturulacak iş çizelgeleri ve kullanılacak bilimsel yöntemlerle firmanın rekabet gücü ile ulusal ve uluslararası pazar payının dikkate değer büyüklükte artacağı beklenmektedir.

Tez ile oluşturulacak iş çizelgeleri ve kullanılacak bilimsel yöntemlerle BEST A.Ş.'nin rakip firmalara üstünlük sağlayacak ve BEST A.Ş.'nin karlılığı, rekabet gücü arttırılacaktır. Tez sonucunda ortaya çıkacak know-how gelecekte kurulması planlanan dağıtım trafosu fabrikasının yerleşiminin, üretim kaynaklarının ve yöntemlerinin belirlenmesi ve optimizasyonunda kullanılacaktır.

Tez kapsamında yapılacak faaliyetler sonunda elde edilecek bilgi ve yöntemlerden yararlanarak doğru fiyat tekliflerinin oluşturulması ile firmanın karlılığı artacaktır. Bu avantaj ülkemize döviz girdisi anlamında katkı sağlayacaktır.

1.3 Çalışmanın Kapsamı, Kısıtlar ve Varsayımlar

Elektromekanik sektöründe ürün çeşitliliğinin çok olması ve siparişe dayalı tasarım ve üretim olması nedeni ile seri üretim yapan firmalar için geliştirilmiş yazılımlar ve teknikler kullanılamamaktadır. Dolayısı ile bu sektörde kullanılan tüm teknik ve yazılımlar, firmalar tarafından kendi imalat süreçlerine uygun olarak geliştirilmiş özel yazılımlardır. Bu yüzden piyasadan paket olarak satın alınabilecek ticari bir yazılım bulunmamaktadır.

Bu tez dağıtım ve orta güç transformatörlerinin işçilik süreleri ve termin zamanlarının hesaplanmasına yönelik iş etüdü, istatistiksel analiz, simülasyon ve yazılım geliştirme çalışmalarını kapsamaktadır.

Tez çalışması esnasında karşılaşılan kısıtlar ve varsayımlar:

Kısıtlar;

- İşletmenin 3 vardiya çalışmasından kaynaklanan yeterli gözlem almada güçlükler;
- İşletmenin ürün çeşitliliğinin çok olması ve farklı tip transformatörlere ilişkin, yeterli gözlem almada güçlükler;

Varsayımlar;

- Simülasyon modelinde işletmenin tatil günlerinde de çalıştığı ;
- İşletmenin, hammadde ve malzeme tedarikinde sorun yaşamadığı ve üretimden önce gerekli malzemelerin fabrikada hazır bulunduğu varsayılmıştır;

1.4 Çalışmanın Özgün Katkısı

İşlerin tamamlanma zamanının tahmin edilmesine ilişkin olarak literatürde yer alan bu çalışmalar genellikle işlem süreleri, çevrim zamanı ortalaması, varyanslar, iş yükü, boşta beklemeler, kuyrukta bekleyen iş sayısı, ortalama kuyrukta bekleme süreleri vb. iş veya atölye ile ilgili karakteristikleri dikkate alarak işin tamamlanma süresinin tahmini üzerine yoğunlaşmıştır. İşin tamamlanma zamanının tahmin edilmesine ilişkin olarak literatürde yayınlanan çalışmalar üç ana grupta toplanabilir (bkz. EK A). Birinci grup amaç ve kısıt fonksiyonları ile kendine özgü tahmin ve optimizasyon algoritmaları kullanan analitik yöntemlerdir. Bu yöntemler problemin boyutu küçük olduğunda, işlem süreleri bilindiğinde ve sistemde problemin çözümünü kolaylaştıracak varsayımlar yapıldığında etkili sonuçlar vermektedir. Ancak dinamik atölye koşulları dikkate alındığında, bu yöntemlerin kullanılabilmesi için yapılan pek çok varsayım işin tamamlanma zamanının düşük bir varyansla doğru bir şekilde belirlenmesini engellemekte ve gerçekçi sonuçlar elde edilememektedir. Ayrıca küçük problemler için çözüm elde etmek mümkünken, gerçek üretim sistemleri gibi karmaşık problemlerin çözümü bu yöntemlerle oldukça zaman almakta bazen de mümkün olmamaktadır. Büyük problemlerin klasik optimizasyon ve tahminleme yöntemleri ile çözülememesi durumunda, sezgisel algoritmalar kullanılarak optimum olmasada optimuma yakın sonuçlar elde etmek mümkündür. Ancak bu algoritmaları da kullanabilmek için problemin çözümünü basitleştiren pek çok varsayım yapılması gerekir ki bu durum problemin çözümünün dinamik atölye şartlarından uzaklaşarak elde edilmesine neden olur. İkinci grup ise simülasyon, regresyon ve diğer istatistiksel yöntemlerden faydalanılarak yapılan iş tamamlanma zamanı tahminleridir. Bu yöntemlerde iş ve atölye ile ilgili karakteristikler ile sistemde her zaman gerçekleşmesi olası durumlar dikkate alınarak dinamik atölye koşullarında geçmiş verilerden elde edilen olasılık dağılımlarının da yardımıyla modelleme ve tahminlemeler yapılabilmektedir. Bu grup altındaki yöntemler kullanılarak büyük boyutlu problemleri dinamik atölye şartlarını dikkate alarak çözmek mümkündür ancak sezgisel yöntemlerde olduğu gibi dezavantajı optimum yerine optimuma yakın sonuçlar vermesidir. Üçüncü grup yöntemler ise yapay zekâ teknikleridir. Bu yöntemlerde özellikle büyük boyutlu problemlerin dinamik atölye şartlarını dikkate alarak çözümlenmesinde başarılı sonuçlar vermekle

birlikte optimum sonuç yerine optimuma yakın sonuçlar üretmektedir. Bir diğ er dezavantajı ise yapay zek a optimizasyon algoritmalarının karmaşık bir yapısının olmasıdır.

Literatürde yer alan çalışmalarda, işlerin termin zamanlarının hesaplanmasında iş veya atölye ile ilgili karakteristikler (kaynak sayısı, iş sayısı, boşta bekleyen makine sayısı, kuyrukta bekleyen iş sayısı v.b.) kullanmaktadır. Bu çalışmalarda işlerin işlem sürelerinin veya olasılık dağılımlarının bilindiği varsayılır. Bu tezde işlerin teknik özellikleri; işlerin operasyonlar bazında işlem sürelerinin tahmin edilmesinde doğrudan girdi olarak kullanılmaktadır ve tezin özgün yanını oluşturmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

İşin tamamlanma zamanının tahmini ile ilgili olarak literatürde göze çarpan çalışmalar Weeks ve Fryer (1976) ile başlamaktadır. Yazarlar simülasyonla elde edilen verilerden regresyon analizinden yararlanarak işin tamamlanma zamanının tahmin edilmesi üzerine çalışmışlardır. İş akış zaman maliyeti, ortalama iş gecikme maliyeti, ortalama erken tamamlama maliyeti, ortalama iş tamamlanma zamanı maliyeti gibi atölye performans çıktı ölçütleri için işin toplam tamamlanma zamanını tahmin etmek amacıyla çoklu lineer ve nonlinear regresyondan yararlanmışlardır. İzleyen yılda Weeks ve Fryer (1977) simülasyon ve çoklu regresyondan yararlanarak atölyeye gelen işin minimum maliyetli tamamlanma zamanını tahmin etmişlerdir. Weeks, (1979) bu simülasyon çalışmalarına devam ederek tamamlanma zamanı tabanlı dağıtım kuralları kullanmışlardır. Girdi olarak beklenen iş akış zamanı, iş tıkanıklık bilgisi girdilerini ve yöntem olarak da TWK (total work content) 'yı kullanmışlardır. Ragartz ve Mabert (1984) lineer ve lineer olmayan regresyon analizi ile iş akış zamanını tahmin etmişler; çıktı olarak gecikmelerin standart sapması, ortalama gecikme, ortalama mutlak kayıp tamamlanma zamanları; girdi olarak ise atölye karakteristikleri kullanılmıştır. Ragartz ve Mabert gibi, Vig ve Dooley (1991, 1993) de akış zamanının ve dolayısıyla işin tamamlanma zamanının tahmininde regresyon analizinden yararlanmıştı. Vig ve Dooley (1991) en son tamamlanan üç işin her bir operasyonunun ortalama akış zamanını kullanarak yeni gelen işin akış zamanını tahmin etmeye çalışmışlardır. Arizono vd., (1992), yapay sinir ağları kullanarak işin akış zamanının tahmini ve minimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Girdi değişkenleri olarak işin sırası, işin işlem süresi, iş sırada beklerken işin hazırlık süresi, işin başlangıç zamanı, gerçekleşen akış zamanı değerlerini kullanmışlardır. Vig ve Dooley (1993) iş tamamlanma zamanının statik ve dinamik yöntemlerin karmasından oluşan bir yöntem sunmuştur. Enns, (1993) tahminleme hatalarının olasılık dağılımından yola çıkarak işin tamamlanma zamanının tahmin edilmesi üzerinde çalışmışlardır. Lee ve Kim (1993), Hill ve Remus (1994), Statake, (1994) yapay sinir ağları ile çizelgeleme üzerine çalışmışlardır. Udo, (1994) işin tamamlanma zamanının tahmin edilmesine yönelik iş yükü bilgisinin birikimli

dağılım fonksiyonu, iş yükü bilgisinin oransal fonksiyonu bilgilerini kullanmışlardır. Enns, (1995) regresyonla dinamik atölye yük bilgisine dayalı bir tahmin modeli önermiştir. Bu modelde işin tamamlanma zamanları, tahmin hatalarının varyansları ile hedef teslim performans seviyesinin güvenlik aralığı dikkate alınarak belirlenmektedir. Lawrence, (1995) karmaşık üretim sistemlerinde akış zamanı tahmini ve buna bağlı olarak işin tamamlanma zamanının belirlenmesi üzerinde çalışmıştır. Çoklu iş merkezi, çoklu servis, geri beslemeli kuyruklar ve makine arızalarını dikkate alarak deneysel tahmin hatalarının dağılımından yola çıkarak Ramberg-Schmeiser dağılımı yardımıyla akış zamanını modellemiştir. Performans çıktısı olarak maliyet minimizasyonu, ortalama mutlak ve ortalama karesel gecikmenin minimizasyonu gibi ölçütleri kullanmıştır. Smith vd.,(1995) regresyona dayalı tamamlanma zamanı tahminlerinin atölye performansı üzerindeki etkisini araştırmışlar ve sabit tamamlanma zamanı tanımlamaya göre regresyon tabanlı tahminleme ile tamamlanma zamanını tahmin etmenin daha kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermişlerdir. Sabuncuoğlu ve Gurgun, (1996) algoritmik ve yapay sinir ağı (Hopfield ağı) yaklaşımlarını birleştirmiş ve tek makinalı atölye sisteminde işler, iş sıraları ve makinaları girdi olarak kullanarak; ortalama gecikme ve en kısa çevrim zamanını tespit etme üzerine çalışmışlardır. Chen ve Muraki, (1997) geri yayımlı yapay sinir ağlarından yararlanarak işletmenin önceki durumunu on-line olarak güncelleyen ve iş çizelgelemesi ve tamamlanma zamanı tahmini yapan ağ geliştirme üzerinde çalışmışlardır. Chang, (1997a; 1997b) yaptığı iki çalışmada da işlerin kuyrukta bekleme zamanlarının simülasyonla elde edilen veriler yardımıyla tahmin edilmesinin, işlerin akış zamanı davranışı hakkında önemli bakış açıları kazandırdığı sonucuna varmıştır. Harris, (1997) taşıyıcı hızı (transporter speed), ara stok kapasitesi, dağıtım kuralı (dispatching rule), atölye yükü (shopload), rota konfigürasyonu girdilerine karşılık işin tamamlanma zamanı, ortalama akış süresi, ortalama akışın varyansı ve kaynak bekleme çıktılarının arasındaki ilişkileri yarım faktöriyel tasarımdan faydalanarak modellemiştir. Liao ve Lin (1998) erken ve geç tamamlanma zamanlarının minimizasyonu amacıyla; ortalama mutlak gecikme (MAL), ortalama gecikme, geciken işlerin sayısı performans ölçütlerini alarak işin en iyi tamamlanma zamanını tahmin etmeye çalışmışlardır. Cheng ve Jiang (1998) önemli karar verme faktörlerinden olan dağıtım kuralı (dispatching rule) ve işin tamamlanma zamanı belirleme metodundan yola çıkarak işlerin tamamlanma zamanının tahmininde kullanılabilecek “dynamic total work content method –

DTWK” ve “due date method, dynamic processing plus waiting – DPPW” metotlarını önermiştir. Moodie ve Bobrowski (1999) işin tamamlanma zamanının, müşteri ile üretici arasındaki müzakereye ve işin cari fiyatına bağlı olarak değişeceğini öne sürerek literatürdeki mevcut çalışmalara farklı bir açıdan bakmıştır. Talep, gecikme, getiri, iş çeşitliliği, sorumluluklar, esneklik ve tolerans girdileri için 64 farklı kombinasyondan oluşan bir deney tasarlamışlar ve bu kombinasyonların getirilerini hesaplamışlardır. Veral ve Mohan (1999) negatif üstel dağılımlı servis zamanına sahip siparişlerin varışlarının Poisson dağılımına uyduğu belirtmişlerdir. Bu çalışmada yazarlar iş akışlarının en erken tamamlanma zamanı, en kısa işlem süresi ve ilk gelen ilk işlem görür kuralları ile işletilen tek makinalı atölye tipi üretim problemini ele almışlar ve işlem süreleri cinsinden akış zamanını modellemişlerdir.

Veral, (2001) response surface metotundan faydalanarak her bir işin akış zamanını tahmin edebilmek amacıyla ikinci dereceden full quadratik regresyon denklemi ile işlem süreleri ve iş istasyonu kullanımları girdileri için tahmin modeli kurmuş, daha sonra her bir iş parçasının tahmin edilen değerlerini toplayarak işin tamamlanma zamanına ait tahmin değerine ulaşmıştır. Benard ve Huff (2001) geniş bir alana ve farklı coğrafi bölgelere dağılmış üretimin çizelgelenmesi ve işin tamamlanma ve teslim zamanının tahmin edilmesi üzerine çalışmışlardır. Raaymakers vd., (2001) tek tek işler yerine bir grup iş ile ilgilenmişler ve bu iş setinin birleştirilmiş karakteristiklerini belirlemişlerdir. Kuroda vd., (2002) belirli bir aralıkta rassal olarak gelen müşteri sipariş sayısı, tahmin edilen tamamlanma zamanı, müşteri siparişi için işin tamamlanma zamanının tahmin edildiği tarih, tamamlanma süresi girdilerini kullanarak birden bire ortaya çıkan müşteri siparişlerinin en erken teslim zamanının belirlenmesi ve tahmini ile mevcut üretimi devam eden siparişlerin söz verilen tarihlerde müşterilere teslimi üzerine çalışmışlar ve simülasyon ile analitik yöntemlerden faydalanmışlardır. Ivanescu vd., (2002), yığın üretimde operasyonlar arasındaki çok sayıda öncelik ilişkilerinin, çizelgeleme metotları ile iş yükünün tahmininde geniş problemler için çok sayıda hesaplama karmaşıklığına yol açtığını göz önüne alarak regresyon tabanlı modelleme ile bir grup işin tamamlanma zamanının tahmini üzerinde çalışmışlardır. Sabuncuoğlu ve Çömlekçi (2002) yeni bir akış zamanı tahmin modeli öne sürmüşler ve bu yeni yöntemin performansını dağıtım kurallarının performansıyla kıyaslamışlardır. Performans ölçütü olarak işin akış zamanının tahmini, ortalama mutlak gecikme, gecikmenin

standart sapması, ortalama gecikme, ortalama karesel gecikme, ortalama akış zamanı alınmıştır. Girdi değişkeni olarak, makinelerdeki iş yükünün dağılımı, atölyedeki iş yükü, işlem süreleri, işlem süreleri toplamı değerleri kullanılmıştır. Raaymakers vd., (2001)'nin çalışmasının devamında bu tahmin modelinin performansı Raaymaker ve Weijters (2003) tarafından yapay sinir ağları ile karşılaştırılmıştır. Raaymakers ve Weijters (2003) regresyon modellerinden ve yapay sinir ağlarından yararlanarak çevrim zamanlarının ve buradan hareketle işin tamamlanma zamanının tahmini üzerine çalışmalar yaparak bu iki yöntemin performansını kıyaslamıştır. Lengyel vd., (2003) yapılabirlik fonksiyonuna dayanan yeni bir dağıtım kuralı geliştirmiş; TWK ve CON iş tamamlanma zamanı modelleri ile MAL ve MSL performans kriterlerine göre yeni yöntemin performansını simülasyon ortamında türetilen verileri kullanarak analiz etmişlerdir. Hsu ve Sha (2004), yapay sinir ağlarından yararlanarak işin tamamlanma zamanını tahmin etmeye çalışmışlardır. Sha ve Liu (2005) dinamik atölye tipi üretimde, işin tamamlanma zamanının tahmininde kullanılan analitik yöntemlerden biri olan TWK kuralını geliştirmek üzere veri madenciliğinden ve karar ağaçlarından yararlanmışlar ve If-Then-Else kurallarından faydalanarak işin atölyeye vardığında atölyenin durumunun doğru ayarlanmasını sağlamışlardır. Goving ve Roeder (2006), rotası iş bitimine kadar kesin olarak belli olmayan işlerin tamamlanma zamanlarının tahmini için response surface metotundan faydalanmıştır. Faktör olarak ilerlenecek adımdan itibaren kalan çevrim zamanının ortalaması ve varyansını; çıktı (response) olarak ise işin tamamlanma zamanını almış ve tamamlanma zamanını güven aralığı ile birlikte tahminlemişlerdir. Sha vd., (2007) önerdikleri regresyon tabanlı yöntemin performansını dağıtım kuralları ile kıyaslamışlardır. Li vd., (2005 ve 2007) paralel kaynakların ortalama sayısı, her iş için ortalama işlem adımı sayısı, işlem adımlarındaki ortalama çakışma sayısı, iş yükü dengesi ve üretim süresindeki çevrim zamanı standart sapma girdilerine karşılık işin çevrim zamanının buna bağlı olarak da tamamlanma zamanının tahmin edilmesinde geri yayımlı yapay sinir ağları ile genetik algoritmanın birleşiminden oluşan bir yöntem önermişlerdir. Performans ölçütü olarak beklenenle gözlenen süreler arasındaki farkın ortalama hata kare değerini kullanılmıştır. Alenezi vd., (2008) support vector regression modelinden yararlanarak çok kaynaklı çok işli bir üretim sisteminde gerçek zamanlı iş akış zamanı tahmininde bulunmuşlardır. Patil, (2008) işin tamamlanma zamanının tahmininde yapay sinir ağlarından faydalanmıştır. Patil, yapay sinir ağının yapısının (topolojisinin) belirlenmesinde

genetik algoritma kullanmıştır. Belirli bir iş için gerekli operasyon sayısı, işlem süreleri toplamı, bu işin işlem göreceği rotada kuyrukta bekleyen iş sayısı, aynı rotada makinalarda beklenen kuyrukta bekleme sayısı ve işlem süresi gibi genel iş ve atölye karakteristikleriyle; işlere veya atölyeye ait bazı özel karakteristikler girdi olarak kullanılmış ve genetik algoritma tabanlı yapay sinir ağı ile işlerin tamamlanma zamanı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Zhu vd., (2008) işin tamamlanma zamanının tahmin edilmesinde Petri-net simülasyonundan yararlanarak farklı üretim kaynakları ve ürün tipleri için yapay sinir ağlarını eğitmiş ve başarılı sonuçlar almışlardır. Kuroda ve Mihara (2008) müşteri siparişleri rassallıktan uzak ani dalgalanmalı olduğunda işin tamamlanma zamanının analitik yöntemlerle doğru şekilde en az stok bulundurarak tahmin edilebilmesi üzerinde çalışmışlardır. Performans çıktısı olarak ortalama termin zamanındaki azalma oranını ve stok seviyelerinin değerlerini almışlardır (minimum olması beklenir). Baykasoğlu vd., (2008) önermiş oldukları iki istatistiksel tabanlı tamamlanma zamanı tahmin yöntemini geleneksel tahmin yöntemleri ile kıyaslamışlardır. Baykasoğlu ve Gökçen (2009), gen tanımlı programlama adını verdikleri yöntemleri ile işin tamamlanma zamanını tahmin etmişler ve pek çok geleneksel tahmin yöntemleri ile önerdikleri bu yeni yöntemin performansını simülasyon modelleri kurarak elde ettikleri verileri kullanarak karşılıklı olarak kıyaslamışlardır. Alpay ve Yüzüğünlü (2009) kaçırılan tamamlanma zamanını dikkate almışlar; Alpay ve Yüzüğünlü girdi olarak işle ilgili faktörlerden her bir işin işlem sürelerini ve operasyon sayılarını alırken, atölyeye ilgili girdi faktörleri olarak ayrı ayrı her bir iş atölyeye vardığında ve atölyeden ayrıldığında, bu işlerin herbirinin rotalarındaki ve rotaları dışındaki makinelerdeki ve kuyruklardaki toplam iş sayısı ile en son tamamlanan üç işin tahmin edilen ortalama akış zamanlarını almışlardır. Performans kıyaslamasında tam faktöriyel tasarımdan yararlanarak girdilerin farklı kombinasyonlarını simülasyon yoluyla türetip denemişlerdir.

Kuroda, (2010) siparişin bazı özellikleri sabitlenmediğinde işin tamamlanma zamanının tahmin edilmesi üzerine çalışmışlar ve yeni bir analitik yöntem önermişlerdir. Akinnuli vd., (2012) geçmiş üretim verilerini kullanarak modelleme yapan ve işin tamamlanma ve teslim tarihini hesaplayan bilgisayar yazılımı ve sanayi uygulaması üzerine çalışmışlardır. Asadzadeh vd., (2011) üretim sistemi içerisinde işlerin tamamlanma zamanının tahmininde yapay sinir ağları, bulanık regresyon ve

geleneksel regresyon yöntemlerini içeren bir tahmin algoritması önermişlerdir. Chen ve Wang (2013) ana bileşenler analizi, bulanık mantık ve geri yayımlı yapay sinir ağlarından yararlanarak işlerin çevrim zamanını tahmin etmişlerdir.

Yapılan literatür çalışmasının özeti verilmiştir (bkz. Ek A). Bu özet tablo; analitik yöntemler, yapay zekâ teknikleri, regresyon analizi ve simülasyon için gruplandırılmış; her grupta kullanılan yöntemler, girdiler ve çıktılar özetlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde çalışmada kullanılan materyaller ve metotlar açıklanmıştır.

3.1 Materyal

3.1.1 Çalışmada Kullanılan Veriler

Çalışmada kullanılan veriler Balıkesir’de faaliyet gösteren Balıkesir Elektromekanik sanayi tesislerinin dağıtım ve orta güç transformatörlerine ait üretim verileridir. Literatür taramasında incelenen çalışmalar göstermektedir ki geçmiş çalışmalar işlerin işlem sürelerinin ve/veya olasılık dağılımlarının bilindiği varsayımı altında iş ve/veya atölye ilgili karakteristikleri dikkate alarak akış zamanı ve teslim tarihi hesabı yapmaktadır. Bu çalışmada ise ürünlerin tasarım özelliklerinden faydalanarak ilk defa üretilecek ürünler için işlem süresi, akış zamanı ve termin tarihi hesabı yapılacaktır. Bu nedenle çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için uygulamanın yapıldığı işletmenin ilgili üretim birimlerinden (sırasıyla Çekirdek Fabrikası, Sarım Atölyesi, Montaj Atölyesi ve Son İşlemler Atölyelerinde):

- Üretim süreleri üzerinde etkili tasarım kriterleri: Operasyonlar bazında üretim süreleri üzerinde etkili ürün teknik özellikleri,
- Üretim süreleri: İş emrinde ve ürün tasarımında yer alan teknik özelliklere karşılık ölçülen işlem süreleri,
- Hazırlık süreleri: Adı geçen üretim birimlerinde ürün teknik özelliklerine bağlı olarak alt operasyonlar bazında ölçülen hazırlık süreleri,
- Taşıma araçlarının hareketlerine ilişkin gözlem değerleri: Atölyelerde kullanılan taşıma araçlarının işlem ve bekleme sürelerine ait olasılık dağılımlarının çıkarılması

amacıyla bu taşıma araçlarının hareket sıklıkları ve sürelerine ilişkin gözlem değerleri verileri toplanmıştır. Bu verileri kullanılarak ürün teknik özellikleri ile operasyonlar bazında işlem süreleri arasındaki matematiksel bağıntılar ve olasılık dağılımları ortaya konmuştur. Ayrıca simülasyon modelinin oluşturulabilmesi amacıyla:

- Ürün tipleri
 - İş akışları
 - Üretimde kullanılan makine ve ekipmana ait özellikler
- belirlenmiştir.

3.2.1 Çalışmada Kullanılan Yazılımlar

Bu çalışmayı gerçekleştirebilmek amacıyla:

- Minitab istatistiksel analiz programından,
- Arena simülasyon programından,
- Avix iş etüdü programından
- Visual Studio veri okuma-yazma programından,

yararlanılmıştır. Minitab istatistiksel analiz programı kullanılarak standart işler için; işlerin teknik özellikleri ile işlem süreleri arasındaki ilişkileri tespit etmek amacıyla matematiksel modeller kurulmuştur.

Ayrıca Minitab bazı emek yoğun işlerin olasılık dağılımlarının bulunması aşamasında; işlerin teknik özelliklerine göre deney tasarlaması aşamasında da kullanılmıştır. Tasarlanan bu deney kombinasyonları için ölçülen süreler dikkate alınarak Arena Input Analyzer modülü kullanılarak olasılık dağılımları hesaplanmıştır.

Arena simülasyon programı üretim sisteminin simülasyon modelinin kurulması için kullanılmıştır. Kurulan simülasyon modeli sisteme yeni bir sipariş geldiğinde bu siparişin üretimine hangi tarihte başlanacağı, üretimin hangi tarihte

tamamlanacağı ve detay proseslerin işçilik sürelerinin ne olacağını dinamik atölye koşullarında tahmin etmektedir. Bu amaçla Arena simülasyon modeli, Excel’de üretim planlama tarafından güncel olarak girilen bekleyen sipariş listesini okuyarak, önce bu siparişleri dinamik atölye koşulları altında simüle etmekte, ardından istatistikleri tahmin edilmek istenen siparişin Visual Studio ile kodlanmış arayüz aracılığı ile alınan teknik özelliklerini kullanarak tahmin istatistiklerini (operasyonların süreleri ve termin zamanları) çıkartmaktadır.

Visual Studio programı ise bir bilgisayar programlama dili olup kullanıcının veri girişi yapıp bu veriyi işleyebilmesini sağlayan görsel menülerin kolay oluşturulduğu bir yazılım dilidir. Bu tezde Visual Studio Excel’den sipariş listesini ve bu listedeki siparişlerin teknik özelliklerini okuyan, kullanıcı ara yüzünden ilk defa üretilecek ürünün teknik özelliklerini okuyan ve bu bilgileri birleştirerek Arena’da gönderen, Arena simülasyonunun raporlarını özetleyerek kullanıcıya sunan bir arayüz yazılımı geliştirmek için kullanılmıştır.

Avix programı ile metot etüdü ve standart zamanların tespiti yapılmıştır. İşin türünü (hareket israfı, bekleme, katma değersiz iş) seçerek tüm operasyon analiz edilip, iyileştirme yapılacak noktalara karar verilmiştir.

3.2 Metot

3.2.1 Çalışmada Kullanılan Metotlar

Bu tez çalışmasında matematiksel modelleme, olasılık dağılımı hesaplama, simülasyon, istatistiksel analiz metotlarından yararlanılmıştır. Metotların detayları izleyen başlıkların altında detaylandırılmıştır.

3.2.1.1 Matematiksel Modelleme ve Deney Tasarımı

Tez kapsamında ihtiyaç duyulan matematiksel modeller deney tasarımı tekniklerinin kullandığı matematiksel modeller (etkileşimli terimleri de bünyesinde barındıran 1. ve 2. derece regresyon denklemleri) kullanılarak Minitab paket programı yardımıyla oluşturulmuştur. Ayrıca Arena Input Analyzer modülünde hangi olasılık dağılımı kombinasyonları için dağılım parametrelerinin hesaplanacağını belirlemek amacıyla deney tasarımı tekniklerinden faydalanılmıştır. En yaygın kullanılan deney tasarımı yöntemleri yanıt yüzey yöntemi (YYY), Taguchi metodu ve faktöriyel tasarımıdır. Bunlardan YYY ve faktöriyel tasarım regresyon tabanlı yöntemlerdir. YYY ikinci dereceden tam karesel regresyon denklemi adı verilen ve içerisinde lineer terimler, karesel terimler ve ikili etkileşimleri gösteren terimler bulunduran regresyon denklemleri kullanarak girdilerle çıktılar arasındaki ilişkiyi modeller. Faktöriyel tasarım ikinci dereceden terimler içermez, buna karşın değişken sayısı kadar çok sayıda farklı etkileşime de denklemde yer verir (örneğin 4 değişken varsa ikili, üçlü ve dördü etkileşimleri gösteren terimler bulundurması gibi) [24]. YYY'nin kullandığı tam karesel regresyon Denklem (3.1)'de verilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (3.1)$$

Burada Y çıktı değişkenini, X_i ve X_j girdi değişkenlerini (faktör), β_0 , β_i , β_{ii} ve β_{ij} regresyon katsayılarını ve ε ise artuk terimi (hata terimi) göstermektedir. Denklem (3.1) matris notasyonunda yazılırsa Denklem (3.2) elde edilir:

$$Y = \beta X + \varepsilon \quad (3.2)$$

Bu denklemde Y ve X sırasıyla çıktı ve girdi matrislerini göstermektedir. Artuk terimler ise ε ile gösterilen matrisle belirtilmektedir. β matrisi β_0 , β_i , β_{ii} ve β_{ij} model katsayılarından oluşmakta olup en küçük kareler yöntemiyle tahmini için Denklem (3.3)'den yararlanılmaktadır:

$$\beta = (X^T X)^{-1} (X^T Y) \quad (3.3)$$

Bu modeller daha önceden yapılmamış deneylerin sonuçlarını tahmin etme ve/veya istenilen çıktı değerlerini veren girdi değişkeni kombinasyonunu belirlemek amacıyla (optimizasyon) kullanılır. Faktöriyel tasarımda ise denklem (3.1) de verilen genel gösterimin karesel terimleri içeren bölümü yoktur. Ayrıca ikili etkileşimlerin yanında, çoklu etkileşimlerde vardır. Çoklu etkileşimler değişken sayısına kadar gider. Örneğin 4 faktör varsa matematiksel model: lineer terimlerin yanında $Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i$ ikili, üçlü ve dördü etkileşimleri de içerir.

3.2.1.2 Kullanılan Olasılık Dağılımları

Bu tez kapsamında Arena Input Analyzer modülü kullanılarak matematiksel modellerle anlamlı ilişkiler kurulamayan standart olmayan emek yoğun iş bölümleri için olasılık dağılımları geliştirilmiştir. Arena simülasyonunda üçgensel (triangular), tek düze (uniform), üstel (exponential), normal, gamma, beta ve weibull dağılımlarından yararlanılmıştır (Ross 2015, Gürsakal 2010, Rosetti 2010).

Üçgensel Dağılım

Üçgensel dağılım için genel modelleme minimum, maksimum ve gözlenmesi beklenen değerlerden oluşan (a,m,b) bir dağılım oluşturma şeklindedir. Üçgensel dağılım için olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$f(x) = f(x) = \frac{(x-a)^2}{(b-a)(b-m)} \quad a \leq x \leq m \quad (3.4)$$

$$f(x) = 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-m)} \quad m \leq x \leq b \quad (3.5)$$

Burada a, b ve m sırasıyla minimum, maksimum ve mod değerlerini ifade etmektedir.

Tek Düzge Dağılım

Bir olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{(\beta-\alpha)} & \alpha \leq x \leq \beta \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (3.6)$$

ile verilen bir X rastgele değişkenine $[\alpha, \beta]$ aralığı üzerinde düzgün dağılmıştır denir. Düzgün dağılım uygulamada, belli bir rastgele değişkenin $[\alpha, \beta]$ aralığındaki herhangi bir değer civarında eşit şanslı olduğunu varsaydığımızda ortaya çıkar. Olasılık fonksiyonu:

$$P(\alpha < x < \beta) = \frac{1}{\beta-\alpha} \int_a^b dx = \frac{b-a}{\beta-\alpha} \quad (3.7)$$

olur.

Üstel Dağılım

Bir $\lambda > 0$ sabiti için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0 & , x < 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

ile verilen sürekli bir rassal değişkene λ parametrelili bir üstel rastgele değişken denir. Üstel bir rastgele değişkenin birikimli dağılım fonksiyonu:

$$P(X \leq x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (3.9)$$

şeklindedir. Üstel dağılım simülasyonda belli bir olayın gerçekleşmesine kadar geçen zamanın dağılımı olarak karşımıza çıkar.

Normal Dağılım

Normal dağılım ortalama (μ) ve standart sapma (σ) parametrelerine sahip bir sürekli olasılık dağılımıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(1/2)[(x-\mu)/\sigma]^2} \quad (3.10)$$

şeklindedir. Burada $e=2.7182$ ve $\pi = 3.1416$ değerlerine sahiptir.

Gamma Dağılımı

Gamma dağılımı iki parametrelili bir sürekli olasılık dağılımıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\lambda e^{-\lambda x} (\lambda x)^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} \lambda e^{-\lambda x} (\lambda x)^{\alpha-1} dx = (\alpha - 1) \Gamma(\alpha - 1) \quad (3.12)$$

ile verilen bir rastgele değişkene (α, λ) , $\lambda > 0$ parametreleriyle gama dağılımına sahiptir denir. λ ölçek parametresi, α ise şekil parametresi olarak adlandırılır.

Beta Dağılımı

Beta dağılımı sınırlandırılmış bir aralıkta az sayıda veri ile işlem sürelerini modellemekte kullanılan bir dağılımıdır. Beta dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu :

$$f(x) = \frac{x^{\beta-1} (1-x)^{\alpha-1}}{\beta(\beta, \alpha)} \quad 0 < x < 1 \quad (3.13)$$

şeklindedir. Burada β Beta fonksiyonunu ifade eder:

$$\beta(\beta, \alpha) = \int_0^1 t^{\beta-1} (1-t)^{\alpha-1} dt \quad (3.14)$$

Beta fonksiyonu içerisindeki Beta (β) ve Alfa (α) şekil parametreleri olup pozitif reel sayılardan oluşur.

Weibull Dağılımı

Weibull dağılımını sürekli olasılık dağılımı olup olasılık yoğunluk fonksiyonu:

$$f(x) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} \quad (3.15)$$

şeklinindedir. Burada k şekil parametresi ve λ ölçek parametresi olup ikiside pozitif olmak zorundadır.

3.2.1.3 Simülasyon

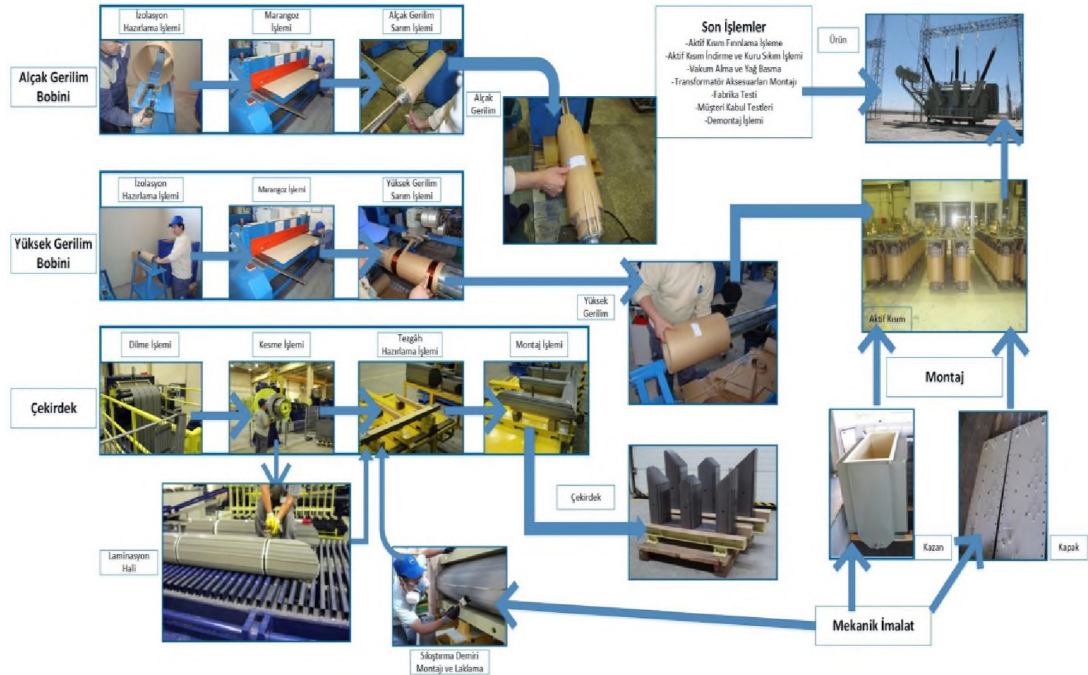
Simülasyon stokastik çevrede iyi çözümler bulan güçlü bir araçtır. Kelton (2015) kitabında, simülasyonu “ genellikle bir bilgisayarda uygun bir yazılım kullanarak, gerçek sistemlerin davranışını taklit eden geniş bir metotlar ve uygulamalar topluluğu” olarak tanımlar. Rosetti (2010) ise benzer şekilde simülasyonu “bir sistemin zaman içindeki davranışını tanımlamak için birbiriyle etkileşim içindeki mantıksal ve matematiksel ilişkileri içerecek şekilde bir dijital bilgisayar üzerinde deneyler yürüten sayısal bir teknik” şeklinde tanımlar. Buna göre simülasyon en genel manada karmaşık, stokastik ve gerçek dünya sistemlerindeki işlemlerin genellikle bilgisayar kullanılarak zamana bağlı olarak taklit edilmesidir. Doğal olarak simülasyon yapabilmek için bir simülasyon modeli geliştirilir. Simülasyon modeli genellikle sistemdeki olaylar hakkında varsayımlarla şekillenir ve sistemdeki ilgili objeler arasındaki mantıksal ve matematiksel ilişkiler olarak ifade edilir. Simülasyon süreci, performans ölçümlerinin örneklemlerini üretmek için simülasyon modelinin zaman boyunca çalıştırılmasını içerir. Farklı sistemlerin simülasyonu ve analizi başlıca; sistemin çalışması hakkında anlayışlar kazanmak, sistemin performansını arttırmak için işletim yada kaynak politikaları geliştirmek, uygulamaya geçmeden önce yeni konseptleri yada sistemleri test etmek ve mevcut sistemi bozmaksızın bilgi toplamak amacıyla gerçekleştirilmektedir.

Gerçek bir karmaşık ve stokastik dünya sürecinin simülasyonu çok fazla miktarda hesaplama gerektirdiği için, bu hesaplamaların bilgisayar ve uygun bir yazılımın aracılığı ile yapılması şarttır. Günümüzde bilgisayarların depolama ve hesaplama gücünün artmasıyla simülasyon tekniğinin popülaritesi ve kullanımı hızlı bir şekilde artmıştır. Bilgisayar ortamında simülasyon yapılabilmesi için Fortran, Visual Basic, C/C++ yada Java benzeri genel amaçlı programlama dilleri kullanabileceği gibi, kesikli ve/sürekli olay simülasyonları için geliştirilmiş SIMAN SIMSCRIP vb. simülasyon programlama dilleri de kullanılabilir. Ancak bu durumda orta ve ileri düzeyde programlama yeteneği gerekir. Bu nedenle genel programlama ve simülasyon dillerinin esnekliği daha fazla olmasına rağmen, kullanılabilirliği daha kolay olan ve sürükle-bırak mantığıyla çalışan Arena, Promodel, Processmodel vb. simülasyon yazılımlarının endüstride kullanımı daha yaygındır. Ayrıca bu tür simülasyon yazılımları modellemenin yanı sıra istatistiksel yazılımlar da barındırmakta; girdi, çıktı ve senaryo analizlerinde de kolaylıklar sağlamaktadır. Simülasyon karmaşık stokastik sistemlerin karmaşık modelleriyle iyi bir şekilde baş edebilmesi yeteneği sayesinde son yıllarda endüstride ve akademide en çok kullanılan Yöneylem Araştırması araçlarından biri olmuştur.

4. UYGULAMA

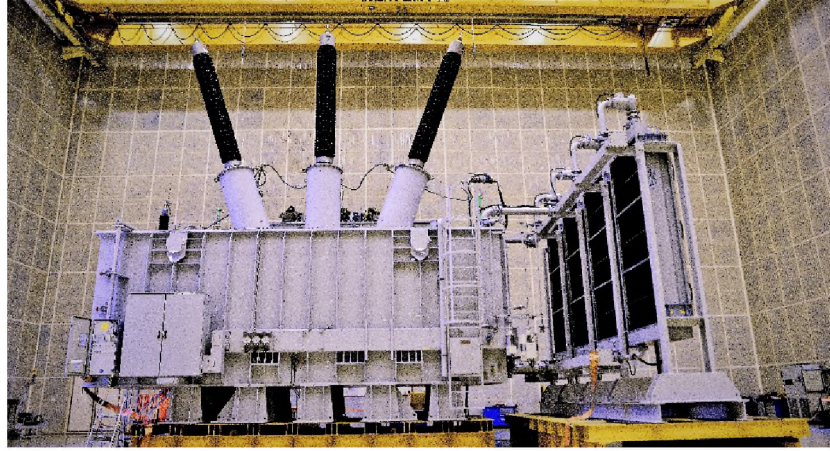
4.1 Sistemin Tanımı

Bu çalışma kısa adı BEST A.Ş. olarak bilinen ve 1969 yılından bu yana üretime devam eden Balıkesir Elektromekanik Sanayi Tesislerinde gerçekleştirilmiştir. Ele alınan süreç transformatör üretimidir. Bu işletmede transformatörler esnek atölye tipi üretimle proje bazlı ve siparişe göre üretilmektedir. Transformatör bir alternatif akımı (AC) değerine elektromanyetik indüksiyon ile çevirebilen ve ihtiyaç duyulan güç ve gerilimi elde etmeyi sağlayan cihazlardır. Bu cihazlar enerji iletiminde ve dağıtımında kullanılan elektrik makineleridir (Harlow 2012). Bu tezde yağlı tip trafo üreten fabrika ele alınmış olup, üretim akışı Şekil 4.1’de ve örnek bir yağlı trafo resmi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Yağlı tip transformatör için üretim iş akışı

Şekil 4.1'e göre ana üretim adımları çekirdek üretimi, bobin üretimi (alçak gerilim bobini ve yüksek gerilim bobini), mekanik üretim, montaj ve son işlemler şeklindedir. Alçak gerilim ve yüksek gerilim sarım operasyonları ayrı ayrı sarım operasyonları halinde yapılarak bobin üretilmekte ve bu bobin kesilmiş saçların üst üste dizilmesi ile üretilen çekirdeğin üzerine monte edilmektedir. Aktif kısım adı verilen bu yapı mekanik üretimde üretilmiş olan kazanın içine konulmakta ardından kapak montajı, yağ dolumu, aksesuar montajı ve trafo testleri gibi son işlemler gerçekleştirilmektedir. Ardından sevkiyatla birlikte operasyon sonlanmaktadır.



Resim 4.1: Örnek bir yağlı tip transformatör

Daha önceden de belirtildiği gibi bu prodesten transformatör gibi tek bir ürün çıkıyor gibi de görünse gerçekte müşteri istekleri ve teknik şartnamelere göre farklılaşan binlerce farklı transformatör üretmek mümkündür. Siparişe göre proje bazlı üretim yapan BEST A.Ş.'de pek çok ürün gerçekte ilk defa üretilmektedir ve bu ürünlere ilişkin maliyetin üretimden önce teklif aşamasında en düşük sapma ile tahmin edilebilmesi rekabet için vazgeçilmezdir. Bu tip üretimin gerçekleştiği ve emek yoğun çalışan elektromekanik sektöründe pek çok satış ihale usulü gerçekleştirilmektedir. Bu sektörün ana çıktısı olan transformatör her ne kadar tek tip bir ürün gibi görünse de müşteri şartnameleri ve isteklerine göre değişen binlerce farklı transformatör üretmek mümkündür. Belli başlı transformatör tiplerini saymazsak, alınan her sipariş aslında ilk defa üretilecek bir ürün niteliği taşımaktadır. İhalelere sadece belirli kalite standartlarını yakalamış ve gerekli belgelere sahip firmalar girebilmektedir.

Dolayısıyla ihale sonucunu ürün kalitesi değil kapalı zarf usulü verilen fiyat teklifi belirlemektedir. Fiyat teklifinin yüksek olması durumunda siparişi kaçırma tehlikesi söz konusudur. Siparişi kaçırmamak için düşük fiyat teklifi verilmesi durumunda ise zararına çalışma tehlikesi söz konusudur. Bu amaçla müşteriye fiyat teklifi verme aşamasında en doğru fiyat teklifini verebilmek için işçilik sürelerinin düşük sapma ile tahmin edilmesi gerekir. Çünkü 3 ana maliyet kaleminden biri olan hammadde ve malzeme maliyetleri kur farkından kaynaklı olarak küçük oranlarda oynamakta iken, en büyük değişkenlik diğer iki ana maliyet kalemi olan işçilik maliyetleri ve siparişlerin üretim sürelerine göre dağıtılan genel giderler maliyetleridir.

Bu tez çalışmasına konu olan problem; fiyat teklifi verme aşamasında, ürünün maliyetlerinin üretimden önce düşük sapma ile tahmin edilebilmesi amacıyla; siparişin teknik özelliklerinden yola çıkarak işlem sürelerinin ve termin zamanının üretime başlamadan önce teklif aşamasında düşük sapma ile tahmin edilebilmesidir.

4.2 Çalışmanın Kapsamı ve Uygulama Adımları

Bu tezde standart ve özel tip dağıtım ve orta güç transformatörleri işçilik maliyetlerinin, elektrik ve mekanik tasarım kriterlerine göre hesaplanabilmesi için yeni bir yazılım geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda yapılacak olan çalışmalar istatistiksel metotları içerecek olup tez faaliyetlerine ilk olarak, belirlenecek olan ve piyasalarda çok talep gören dağıtım transformatörlerinin prototip imalatı ile başlanacak ve gerçek zamanlı işçilik süreleri ülkemizde yerli sermayeli trafo sektöründe ilk kez kullanılacak olan ‘‘AVIX’’ yazılımı yardımı ile ölçülecektir. Ölçüm sonuçları neticesinde katma değerli (transformatör bileşenleri üzerinde yapılan doğrudan işçilikler) ve katma değersiz işçilikler ortaya çıkarılacaktır. Daha sonra ölçülen bu işçilikler mekaniksel ve elektriksel tasarım kriterlerine göre ayrılacaktır. Bu aşamada transformatör tipine göre transformatörü oluşturan mekanik, sarım, çekirdek, montaj, son işlemler, test ve sevkiyat operasyonlarının teknik detayları çıkartılacak (step-lap kesim planı, çekirdek uzunluğu, çekirdek ağırlığı, sarım tipi, kanal adedi, çekirdek geometrisi, sarım sayısı vb. yaklaşık 60 kriter) ve bu detaylara göre deney tasarım yöntemlerinden uygun

olanları seçilerek işçilik süreleri ile tasarım kriterleri arasındaki matematiksel ilişkiler modellenecektir. Tüm bu çalışmalar neticesinde transformatörün mekanik ve elektrik tasarımı tamamlandığında aynı anda işçilik süresini, maliyetini ve siparişin dinamik atölye koşullarında teslim tarihini tasarım kriterlerine göre tahmin edebilecek bir yazılım geliştirilmiş olacaktır. Firmamızın hali hazırda kullanmakta olduğu transformatör tasarım yazılımları içerisine entegre edilecek bu yazılım sayesinde işçilik süreleri teklif aşamasında düşük bir sapma ile belirlenebilecektir. Programın bir diğer özgün yanı da, firmamızın iş istasyonlarında gerçekleşen işçilik sürelerini detayları ile birlikte ortaya çıkarması olacaktır.

BEST A.Ş. özellikle son yıllarda yapmış olduğu atılımlar ve gerçekleştirdiği Ar-Ge faaliyetleri ile sektöründe çok özel ürünler üretme kabiliyetine ulaşmıştır. Bu ürünler, dünyanın en yüksek güç ve akım değerine sahip endüstri transformatörü olarak da sayılabilir. Teknik ve teknolojik gelişmelerin artan bir ivme ile devam ettiği firmamız, dünya devleri ile yarışır duruma gelmiştir. Teknik anlamda gerçekleştirdiği bu gelişmeyi firma rekabetin hayati öneme sahip diğer şartı olan doğru maliyet hesaplama ve fiyat teklifi verebilme konusunda maalesef gerçekleştirememiştir. Bunun sonucu olarak da ürün maliyetleri göz önüne alındığında işçilik operasyonlarının optimize edilmesi ve doğru bir şekilde belirlenmesi gerçekleştirilememiştir. Dolayısıyla, bu tez ile öncelikle firmaya ve ürünlerine özgü geliştirilecek yazılımın ortaya konması ve devreye alınabilmesi hem süreç iyileştirme kültürünün firmaya üniversite işbirliği ile kazandırılması; hem de müşteriye verilecek fiyat tekliflerinde maliyetlerin gerçekçi belirlenebilmesi açısından oldukça önem arz etmektedir.

Firmamız son yıllarda yapmış olduğu yatırımlar ile özellikle sarım ve çekirdek imalatı alt yapısını da geliştirmiştir. Bu yeni gelişmeler doğrultusunda firmamızda birden fazla imalat teknolojisi oluşmuştur. Bu teknolojiler arasında otomatik kesim ve dizim yapan makinalar ve tezgâhlar sayılabilir. Bu teknolojilerin maliyetlere direkt olarak yansıtılabilmesi ve bu teknolojilerin getirmiş olduğu işçilik süre kazanımlarının net olarak belirlenebilmesinde bu tez kapsamında elde edilecek kazanımlardandır.

Tezin uygulama bölümünde izlenecek yöntemler 3 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sıralı ve özet olarak aşağıda sunulmaktadır:

1. Tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve işçilik sürelerinin prototipler üzerinden ölçülmesi:

- Transformator üretimindeki elektiksel / mekaniksel tasarım kriterleri belirlenmiştir. Belirlenen tasarım kriterleri EK B'de verilmiştir.

- İşçilik süreleri ile belirlenen tasarım kriterleri arasındaki matematiksel ilişki denklemlerinin belirlenebilmesi için, veriler uygun şekilde düzenlenmiştir.

2. İşçilik sürelerinin tahmin edilmesinde kullanılacak matematiksel modellerin ve olasılık dağılımlarının belirlenmesi:

- Kişisel faktörlerin etkisinin daha az olduğu standart makine işlemleri için, Server'de depolanan üretim sürelerine ait veriler kullanılarak üretim şartnameleri ile tasarıma etki eden faktörler ve bu faktörlere karşılık ölçülmüş olan işlem süreleri arasındaki matematiksel ilişki denklemleri oluşturulmuştur. Bu denklemlerin anlamlı sonuçları üretip üretmediğinin testi için istatistiksel bir ölçüt olan belirleme katsayısı (R^2) değerleri her bir ilişki denklemini için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Belirleme katsayısı %90'ın üzerinde bulunan modellerin kabul edilebilir tahmin sonuçları üreteceği kabul edilmiştir.

- Emek yoğun çalışılan ve standart olmayan operasyonlar için yukarıda belirtilen matematiksel modelleme çalışmalarına ek olarak; tasarım kriterleri ile bu kriterlere göre ölçülmüş işlem süreleri dikkate alınarak üretim sürelerinin olasılık dağılımları hesaplanmıştır.

- Firmanın üretim süreçlerinin simülasyon modeli Arena paket programında oluşturulmuştur. Bu simülasyon modeli firmaya bir sipariş geldiğinde; iş akışı üzerinde işlem sürelerini, işin toplam işçilik ve bekleme süresini, makine arızasını vb. durumları da simüle ederek işin teslim tarihini veren Siman dilinde kodlanmış matematiksel, istatistiksel ve olasılık tabanlı görsel modellerden oluşmaktadır. Ayrıca bu modeller kullanılarak gelecekte belirlenen zaman aralıkları için makine boşta bekleme süreleri, kuyrukta bekleme süreleri, arıza oranları vb. sayısız atölye ve iş ile ilgili istatistikler dinamik atölye koşullarında saniyeler içerisinde yüksek doğrulukta hesaplatılabilmektedir.

- Oluşturulan simülasyon modellerinin içerisine tasarım kriterlerine göre işlem sürelerini hesaplamak üzere oluşturulan matematiksel modeller ve olasılık dağılımlarının parametreleri girilmiştir.

- Gelen her yeni sipariş için Arena programına Visual Studio ile yazılan bir arayüz yardımıyla girilecektir. Arena simülasyon modeli mevcut kuyrukta bekleyen siparişleri öncelikli olarak simüle edecek, ardından işçilik süreleri ve termin zamanı tahmin ettirilecek olan yeni siparişi simüle ederek sonuç üretecektir.

3. Yazılımın doğrulanması:

- Geliştirilen yazılımın testleri daha önce matematiksel model veya olasılık dağılımı hesabında kullanılmayan veriler ile test edilmiştir.

4.3 Matematiksel Modelleme ve İstatistiksel Veri Analizi

Bu bölümde üretim sisteminin ARENA simülasyonunda kullanılmak üzere, süreçlere ilişkin olasılık dağılımları ve matematiksel modeller elde edilmiş ve transformatör imalatının gerçekleştirildiği çekirdek fabrikası, sarım atölyesi, montaj atölyesi ve son işlemler atölyesi için ayrı ayrı verilmiştir. Emek yoğun faaliyetin az olduğu ve otomatik makinelerle yapılan üretim süreçleri matematiksel modeller kullanılarak modellenirken; emek yoğun işlerde olasılık dağılımlarından yararlanılmıştır. Matematiksel modeller kurulurken kullanılan veriler ticari gizlilik nedeniyle normalize edilmiştir. Bu amaçla her bir sütundaki veri, ilgili sütunun en büyük değerine bölünmüş ve bu yolla tüm veriler 0-1 arasında kodlanmıştır. Regresyon denklemlerinin performans ölçütü olarak Minitab analizleri sonunda hesaplanan belirleme katsayısı (R^2) değerlerine bakılmıştır. Olasılık dağılımlarının hesabında Arena Input Analyser modülünden yararlanılmış olup; verilerin önerilen dağılıma uyduğunu iddia eden H_0 hipotezine karşılık, verilerin önerilen dağılıma uymadığını iddia eden H_1 hipotezi %95 güven düzeyinde test edilmektedir. Analiz sonunda elde edilen olasılık dağılımlarının anlamlı olup olmadığının belirlenmesi amacıyla 25 den fazla sayıda gözlem değeri içeren örneklerde ki-kare, daha az sayıda gözlem değeri içeren örneklerde Kolmogorov-Smirnov testi sonuçlarına bakılmıştır. Çok az sayıda gözlem değeri içeren örneklerde Kolmogorov-Smirnov testi yapılamamışsa minimum ve maksimum gözlem değerleri ile işlem süresi için aralık belirlenmiştir. Ki-kare testi sonucunda H_0 hipotezi reddedilmişse ve Kolmogorov-Smirnov testine ait sonuç varsa ve bu sonuca göre H_0 kabul ediliyorsa, Kolmogorov-Smirnov testi dikkate alınmıştır.

4.3.1 Çekirdek Fabrikası İşlem Süreleri Analizi

Çekirdek atölyesinde dilinmiş saçlar için operasyonlar sırasıyla kesme, dizim ve marangoz olmak üzere 3 tanedir. Üretim verileri kullanılarak elde edilen matematiksel modellere ilişkin analiz sonuçları EK C.1 – EK C.3'te verilmiştir. Yapılan analizlere ilişkin açıklamalar izleyen paragraflarda verilmiştir. Elde edilen matematiksel modeller ve olasılık dağılımlarının özeti aşağıda Tablo 4.1'de verilmiştir. Ticari gizlilik nedeniyle operasyon isimleri gizlenmiş ve kodlanmıştır. Operasyonlara ait elde edilen modeller Tablo 4.1'de karışık sırada verilmiştir. Tabloda verilen R^2 değeri anlamsız parametreler t-testi sonucuna göre modelden ayıklanmadan önce örneklem değerleri için hesaplanan belirleme katsayısını, $R^2(\text{adj})$ değeri anlamsız parametreler t-testi sonucuna göre modelden ayıklandıktan sonra örneklem değerleri için hesaplanan belirleme katsayısını, $R^2(\text{pred})$ ise model kurarken kullanılmayan örneklem için beklenen tahmin performansını göstermektedir. Tabloda, olasılık dağılımının verilen parametrelerle dağıldığını iddia eden H_0 hipotezine karşın verilen dağılımın mevcut haliyle anlamsız olduğunu savunan H_1 hipotezine ait ki-kare test sonucu da verilmektedir. P-value değeri H_0 hipotezinin (hesaplanan olasılık dağılımı ve parametrelerinin kullanılabilir olduğunu iddia eden hipotez) reddedilmesi durumunda yapılacak hata yüzdesini ifade etmektedir. %95 güven düzeyinde yapılan testlerde P-value değeri >0.05 için olasılık dağılımının anlamlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tablo 4.1: Çekirdek fabrikası için operasyonlar bazında elde edilen matematiksel modeller ve olasılık dağılımları

| ÜB | OK | Kullanılan Yöntem | Elde Edilen Model | Performans Ölçütü | Ek No |
|----|------|-------------------|---|--|-----------|
| ÇF | D101 | Regresyon Analizi | $Y = -0,2185 + 3,6046 X_1 + 56,6316 X_2$ | $R^2 = \%96,43$ $R^2(\text{pred}) = \%93,19$ $R^2(\text{adj}) = \%96,17$ | EK C.1 |
| ÇF | D102 | Regresyon Analizi | $Y = 7,475 + 20,915X_1 - 69,325X_2 - 66,936X_1^2 + 22,914X_2^2 + 176,894X_1X_2$ | $R^2 = \%98,03$ $R^2(\text{pred}) = \%97,52$ $R^2(\text{adj}) = \%97,81$ | EK C.2 |
| ÇF | D351 | Olasılık Dağılımı | $10 + 120 * \text{BETA}(0,751 ; 1,31)$ | Chi Square Test p-value = 0,322 | EK C.3 |

ÜB: Üretim Birimi, OK: Operasyon Kodu, ÇF: Çekirdek Fabrikası

D101 Operasyonu üzerinde etkili tasarım parametreleri çekirdeğin kg bazında net ağırlığı ve kesilecek sac adedidir. Kesme için işlem süresini gösteren matematiksel model Tablo 4.1’de verildiği gibidir. Tasarım parametreleri X_1 ve X_2 olarak kodlanmış ancak ticari gizlilik nedeniyle hangi parametreye karşılık geldiği belirtilmemiştir. Modelin R^2 değeri %96.43 olarak hesaplanmıştır.

D101 ve D102 kodlu operasyonlarda regresyon analizinden yararlanılmıştır. D351 Kodlu operasyon içinse olasılık dağılımlarından yararlanılmıştır. Bu amaçla 210 adet gözlem değeri için Minitab ile kök-yaprak grafikleri çizilmiştir. Kök yaprak grafiğine göre ilk analizde 160 ve üzerindeki değerler uç değer olduğu ve nadiren gözlemlendiği için ayıklanmış, ardından yeni veri seti, için analiz tekrarlanmıştır. Yeni analizde bu sefer 151 ve üzeri değerler atılmıştır. Elde Edilen son veri seti Arena Input Analyzer modülü ile analiz edilmiş ve D351 operasyon sürelerinin $10 + 120 * \text{BETA}(0.751, 1.31)$ dağılımına uyduğu görülmüştür.

4.3.2 Sarım Atölyesi İşlem Süreleri Analizi

Sarım Atölyesindeki operasyonlar sarım ve marangoz olmak üzere 2 ‘ye ayrılmaktadır. Sarım operasyonunu da kendi içinde alçak gerilim bant sarım (folyo sarım) makineleri (AG FWM), alçak gerilim kat sarım (profil telli sarım) makineleri (AG N), yüksek gerilim kat sarım (yuvarlak telli sarım, profil telli sarım) makineleri (YG CNC), yüksek gerilim kat sarım (profil telli sarım) makineleri (YG N) ile

gerçekleştirilmektedir. Gözlem sürelerine dayalı olarak elde edilen matematiksel modeller ve olasılık dağılımlarının özeti aşağıda Tablo 4.2’de verilmiştir. Analiz detayları ise EK C.4 – EK C.8’de verilmiştir. Sarım makinelerinin işlem süreleri üzerinde etkili tasarım parametreleri; bobin iç çapı, bobin boyu, bobindeki spir sayısı, lama kaynak boyu, kat sayısı, kanal sayısı, tel cinsi (alüminyum, bakır), tel sayısı için işlem adedi, yzn /dyn (bağlantı grubu) olması durumu, sarım yönü, permütasyon durumu, tel türü (profil yuvarlak), ayar ucu sayısı, tel sayısı ve durumu olarak belirlenmiştir. Bu 14 tasarım parametresinden işlem süreleri üzerine etkili 10 tanesi alınmış ve $x_1 - x_{10}$ arasında kodlanmış ancak ticari gizlilik nedeniyle hangi parametreye karşılık geldiği belirtilmemiştir. Her bir modeldeki X_i terimi de aynı indisi taşıyan diğer modellerdeki X_i ’li terimden farklı bir parametreyi ifade etmektedir.

Tablo 4.2: Sarım atölyesi için operasyonlar bazında elde edilen matematiksel modeller ve olasılık dağılımları

| ÜB | OK | Kullanılan Yöntem | Elde Edilen Model | Performans Ölçütü | EK No |
|----|------|-------------------|---|--|--------|
| SA | D201 | Regresyon Analizi | $Y = -162,102 + 466,417X_1 - 852,949X_2 + 19,397X_3 + 596,376X_4 - 53,071X_6 + 50,210X_7 + 90,408X_8 + 93,585X_9 - 204,797X_1^2 + 386,898X_2^2 + 26,880X_3^2 - 112,460X_4^2 + 36,310X_6^2 + 371,429X_1X_2 - 64,571X_1X_3 - 526,970X_1X_4 + 217,540X_1X_6 + 170,641X_1X_7 - 92,305X_1X_8 - 323,187X_1X_9 + 129,274X_2X_3 - 158,884X_2X_6 - 180,402X_2X_7 + 200,688X_2X_9 - 6,038X_3X_6 - 84,240X_3X_7$ | $R^2 = \%99,13$ $R^2(\text{pred}) = \%*$ $R^2(\text{adj}) = \%95,92$ | EK C.4 |
| SA | D203 | Regresyon Analizi | $Y = 7.1964 + 24,1637X_1 + 0,9176X_2 - 23,2402X_3 + 4,0388X_4 - 14,5280X_5 + 5,7620X_6 + 6,4255X_7 - 3,3784X_8 - 6,1998X_9 - 5,0603X_{10}$ | $R^2 = \%94,97$ $R^2(\text{pred}) = \%85,60$ $R^2(\text{adj}) = \%93,54$ | EK C.5 |
| SA | D204 | Regresyon Analizi | $Y = -7,701 - 32,976X_1 - 19,276X_2 - 63,446X_3 + 45,157X_4 - 28,158X_5 + 8,801X_6 - 2,360X_7 + 19,112X_8 + 26,890X_1^2 + 25,560X_2^2 + 56,373X_3^2 - 22,972X_4^2 - 16,398X_5^2 - 1,763X_6^2$ | $R^2 = \%81,02$ $R^2(\text{pred}) = \%57,24$ $R^2(\text{adj}) = \%74,99$ | EK C.6 |
| SA | D206 | Regresyon Analizi | $Y = -16,6347 + 0,8808X_1 + 3,6797X_2 - 6,1770X_3 + 37,4454X_4 + 19,6574X_5 + 13,1544X_6 + 10,2910X_7$ | $R^2 = \%94,68$ $R^2(\text{pred}) = \%80,47$ $R^2(\text{adj}) = \%91,29$ | EK C.7 |
| SA | D202 | Olasılık Dağılımı | UNIF(24,5; 45,5) | Chi Square Test p-value = 0,565 | EK C.8 |
| SA | D205 | Olasılık Dağılımı | UNIF(24,5; 45,5) | Chi Square Test p-value = 0,565 | EK C.8 |

ÜB: Üretim Birimi, OK: Operasyon Kodu, SA: Sarım Atölyesi

Sarım operasyonları için işlem süresini gösteren matematiksel modeller Tablo 4.2’de verildiği gibidir. Modellerin R^2 değerleri %81,02 ile %99,13 arasında değişmektedir. Bu değerler matematiksel modellerin anlamlı olduğunu göstermektedir. Tablo 4.2’de verilen olasılık dağılımları için ki-kare test sonuçları incelendiğinde, elde edilen olasılık dağılımlarının uygun olduğu görülmüştür.

4.3.3 Montaj Atölyesi İşlem Süreleri Analizi

Montaj atölyesindeki operasyonlar Montaj hazırlık, Montaj Marangoz, Montaj, ve Montaj Kaynak olmak üzere 4 ana kısımdan oluşmaktadır. Bu atölyede gözlenen işlem süreleri matematiksel modellerle ifade edilemeyecek kadar emek yoğun ve değişken olduğundan dolayı; işlem süreleri işlerin teknik özellikleri dikkate alınarak olasılık dağılımları ile belirlenmiştir. Gözlenen veriler kullanılarak elde edilen olasılık dağılımlarına ilişkin analiz sonuçlarının detayları EK C.9 – EK C.12’de verilmiştir. Elde edilen olasılık dağılımlarının özeti aşağıda Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3: Montaj atölyesi için operasyonlar bazında elde edilen matematiksel modeller ve olasılık dağılımları

| ÜB | OK | Kullanılan Yöntem | Elde Edilen Model | Performans Ölçütü | EK No |
|----|------|-------------------|--|--------------------------------------|------------|
| MA | D401 | Olasılık Dağılımı | (0-250 KVA) (250 dahil): TRIA(21, 31, 41) | Kolmogorov-Smirnov p-value> 0,15 | EK C.9 |
| MA | D401 | Olasılık Dağılımı | (250-12500 KVA) (12500 dahil): 73 + GAMM(15,3 ; 2,21) | Chi Square Test p-value= 0,248 | EK C.9 |
| MA | D403 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon1 TRIA(384; 418; 478) | Chi Square Test p-value= 0,253 | EK C.10 |
| MA | D403 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon2 306+544*BETA(2,13 ; 11) | Kolmogorov-Smirnov p-value> 0,15 | EK C.10 |
| MA | D403 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon4 599+64*BETA(0,446 ; 0,479) | Kolmogorov-Smirnov p-value> 0,15 | EK C.10 |
| MA | D403 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon5 369+471*BETA(1,5 ; 1,23) | Chi Square Test p-value= 0,283 | EK C.10 |
| MA | D403 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon6 NORM(1,06e+003 ; 310) | Chi Square Test p-value= 0,204 | EK C.10 |
| MA | D403 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon8 UNIF(793 ; 1,58e+003) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.10 |
| MA | D403 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon12 2,16e+003+249*BETA(0,138 ; 0,162) | Kolmogorov-Smirnov p-value> 0,15 | EK C.10 |
| MA | D403 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon16 2,35e+003+EXPO(1,09e+003) | Kolmogorov-Smirnov p-value> 0,15 | EK C.10 |
| MA | D404 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon1 UNIF(99, 223) | Kolmogorov-Smirnov p-value> 0,15 | EK C.11 |
| MA | D404 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon2 64 + EXPO(52) | Chi Square Test p-value> 0,75 | EK C.11 |
| MA | D404 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon3 123GAMM(10,6 ; 1,79) | Kolmogorov-Smirnov p-value> 0,15 | EK C.11 |
| MA | D404 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon4 149+GAMM(36,6 ; 2,28) | Chi Square Test p-value= 0,56 | EK C.11 |
| MA | D404 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon7 355 + GAMM(126 ; 1,51) | Chi Square Test p-value=0,241 | EK C.11 |
| MA | D404 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon9 126+233*BETA(0,453 ; 0,508) | Kolmogorov-Smirnov p-value>0,15 | EK C.11 |
| MA | D404 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon10 213+285*BETA(0,641 ; 0,756) | Kolmogorov-Smirnov p-value>0,15 | EK C.11 |
| MA | D404 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon11 NORM(600 ; 229) | Kolmogorov-Smirnov pvalue>0,15 | EK C.11 |
| MA | D402 | Olasılık Dağılımı | 30+15*BETA(0,288 ; 0,324) | Chi Square Test p-value<0,0776 | EK C.12 |

ÜB: Üretim Birimi, OK: Operasyon Kodu, MA: Montaj Atölyesi

Tablo 4.3'te verilen olasılık dağılımlarına ait ki-kare ve Kolmogorov-Smirnov test sonuçları incelendiğinde, verilerin önerilen dağılıma uyduğunu iddia eden H_0 hipotezlerinin kabul edildiği ve %95 güven düzeyinde elde edilen olasılık dağılımlarının uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4.3.4 Son İşlemler Atölyesi İşlem Süreleri Analizi

Son işlemler atölyesindeki operasyonlar 5 ana başlık altında incelenmiştir. Bunlar: Aktif kısım fırınlama, fırından indirme ve kuru sıkım, vakum alma ve yağ basma, aksesuar ve tesisat montajı, rötuş boya şeklindedir. Bu operasyonlar tamamen emek yoğun olduğundan dolayı gözlem değerleri için matematiksel modeller yerine olasılık dağılımları oluşturulmuştur. Analiz detayları EK C.13- C.17'de verilmiştir. Analiz özeti Tablo 4.4'te özetlenmiştir.

Tablo 4.4: Son işlemler atölyesi için operasyonlar bazında elde edilen matematiksel modeller ve olasılık dağılımları

| ÜB | OK | Kullanılan Yöntem | Elde Edilen Model | Performans Ölçütü | EK No |
|-----|------|-------------------|--|--------------------------------------|---------|
| SİA | D500 | Olasılık Dağılımı | Toplam izolasyon miktarı ≤ 1000 $14+12*BETA(1,27 ; 0,816)$ | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.13 |
| SİA | D500 | Olasılık Dağılımı | Toplam izolasyon miktarı >1000 TRIA(22; 28,9 ; 38) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.13 |
| SİA | D550 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon1 $52+225*BETA(0,788 ; 0,626)$ | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.14 |
| SİA | D550 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon2 UNIF(105, 168) | Min = 105 Max = 167 | EK C.14 |
| SİA | D550 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon3 TRIA(82, 133, 812) | Chi Square Test p-value=0,282 | EK C.14 |
| SİA | D550 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon4 $105 + WEIB(40,4 ; 0,459)$ | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.14 |
| SİA | D550 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon5 $401+1,05e+003*BETA(0,221 ; 0,235)$ | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.14 |
| SİA | D555 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon1 TRIA(95 ; 143 ; 333) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.15 |
| SİA | D555 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon2 TRIA(64 ; 191 ; 209) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.15 |
| SİA | D555 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon3 UNIF(120 ; 407) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.15 |
| SİA | D555 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon5 $83+459*BETA(0,834 ; 1,25)$ | Chi Square Test p-value=0,247 | EK C.15 |
| SİA | D555 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon6 TRIA(124 ; 192 ; 215) | Min = 124 Max = 214 | EK C.15 |
| SİA | D555 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon7 $112+682*BETA(0,949 ; 1,31)$ | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.15 |
| SİA | D555 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon11 $415+WEIB(59,6 ; 0,356)$ | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.15 |
| SİA | D560 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon1 UNIF(104 ; 268) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.16 |
| SİA | D560 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon7 UNIF(90 ; 191) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.16 |
| SİA | D560 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon13 UNIF(105 ; 442) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.16 |
| SİA | D560 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon14 $221+654*BETA(0,445 ; 0,868)$ | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.16 |
| SİA | D560 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon16 UNIF(806 ; 1,93e+003) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.16 |
| SİA | D560 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon 19 TRIA(164 ; 173 ; 227) | Min = 164 Max = 226 | EK C.16 |
| SİA | D560 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon20 $477+WEIB(10,1 ; 0,266)$ | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.16 |
| SİA | D560 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon29 UNIF(973 ; 2,32e+003) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.16 |
| SİA | D560 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon 30 TRIA(1,87e+003 ; 2,96e+003 ; 3,37e+003) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.16 |
| SİA | D580 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon1 UNIF(39,5 ; 113) | Min = 40 Max = 112 | EK C.17 |
| SİA | D580 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon2 $134 + EXPO(113)$ | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.17 |
| SİA | D580 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon3 $70 + EXPO(49,9)$ | Chi Square Test p-value=0,306 | EK C.17 |
| SİA | D580 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon4 UNIF(67 ; 273) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.17 |
| SİA | D580 | Olasılık Dağılımı | Kombinasyon6 NORM(417 ; 56,5) | Kolmogorov-Smirnov p-value > 0,15 | EK C.17 |

ÜB: Üretim Birimi, OK: Operasyon Kodu, SİA: Son İşlemler Atölyesi

Tablo 4.4'te verilen olasılık dağılımlarına ait ki-kare ve Kolmogorov-Smirnov test sonuçları incelendiğinde, verilerin önerilen dağılıma uyduğunu iddia

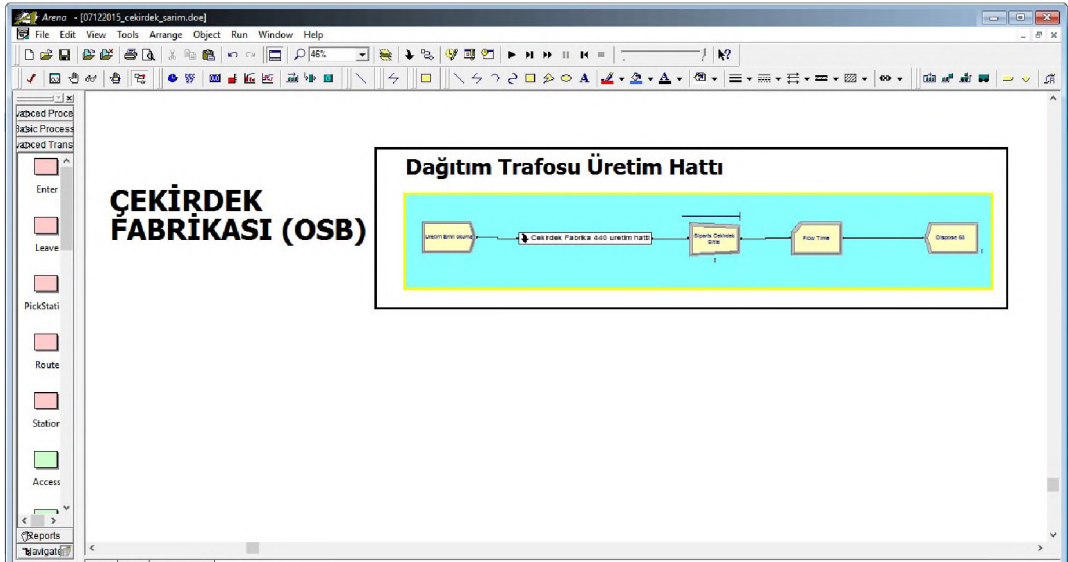
eden Ho hipotezlerinin kabul edildiği ve %95 güven düzeyinde elde edilen olasılık dağılımlarının uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4.4. Simülasyon Çalışmaları

Tezin bu bölümünde simülasyon çalışmaları girdi analizi, simülasyonla modelleme ve çıktı analizi olmak üzere 3 alt başlık altında anlatılmaktadır.

4.4.1 Çekirdek Fabrikası Arena Simülasyon Modeli

Trafo çekirdek üretimi, işletmenin Organize Sanayi Bölgesinde Çekirdek Fabrikasında gerçekleştirilmektedir. Çekirdek Fabrikasının en üst seviye simülasyon modeli Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Dağıtım trafosu çekirdek üretim hattı simülasyonu genel görünüm

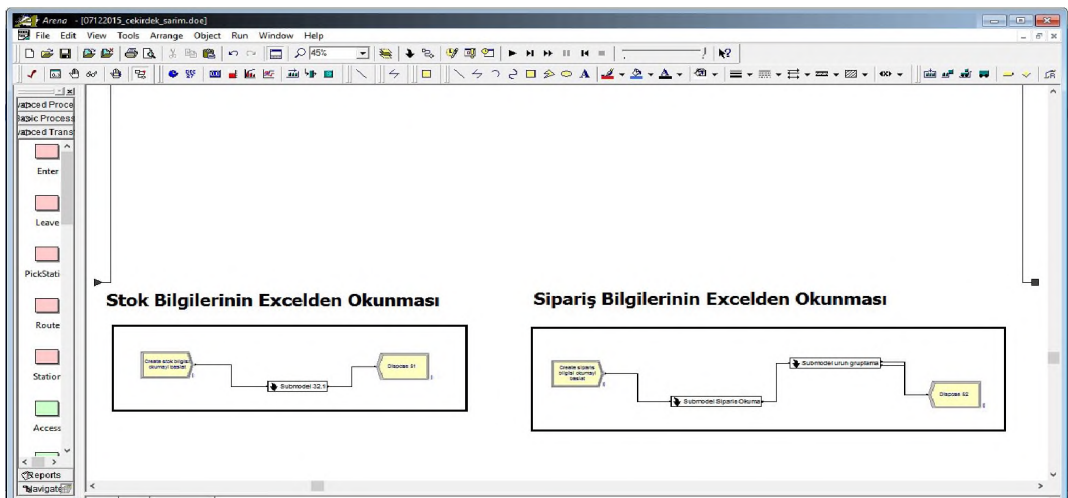
Modelde, varlıkların doğru şekilde yönlendirilmesi ve işlem süreleri için sipariş ve tasarım bilgilerinden Proje No, Trafo No, Güç, Kalem Kodu, Sac Cinsi,

Çekirdek Çapı, Kademe (1, 2, 3, ...), Sac Adedi (1, 2, 3, ...), Kademe Ağırlık (1, 2, 3, ...), Sac L boyları özellikleri belirlenmiş ve bu özellikleri içeren Şekil 4.3'te verilen ve hali hazırda firmanın benzer dosyaları hazırladığı örnek Excel dosyası oluşturulmuştur.

| 1 | Proje No | Is No | Müste Trafo No | Geni | Bağlan Kalem Kodu | Sac Ginsi | Ökirdk Kademe | Sac Ad1 | AĞrlik | Kademe2 | Sac Ad2 | AĞrlik | Kademe3 | Sac Ad3 | AĞrlik | Kademe4 | Sac Ad4 | | | | | | | | |
|----|----------|---------|----------------|------|-------------------|-----------|---------------|---------|-------------|------------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2 | 1792 | 2002231 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905478 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 6 | 140 | 100 | 200 | 130 | 100 | 200 | 120 | 100 | 200 | 110 | 100 |
| 3 | 1792 | 2002231 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905478 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 6 | 140 | 100 | 200 | 130 | 100 | 200 | 120 | 100 | 200 | 110 | 100 |
| 4 | 2064 | 2002493 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905478 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 6 | 140 | 100 | 200 | 130 | 100 | 200 | 120 | 100 | 200 | 110 | 100 |
| 5 | 2064 | 2002564 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905478 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 6 | 140 | 100 | 200 | 130 | 100 | 200 | 120 | 100 | 200 | 110 | 100 |
| 6 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905478 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 6 | 140 | 100 | 200 | 130 | 100 | 200 | 120 | 100 | 200 | 110 | 100 |
| 7 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905478 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 6 | 140 | 100 | 200 | 130 | 100 | 200 | 120 | 100 | 200 | 110 | 100 |
| 8 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905478 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 6 | 140 | 100 | 200 | 130 | 100 | 200 | 120 | 100 | 200 | 110 | 100 |
| 9 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905480 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 7 | 140 | 200 | 10 | 130 | 200 | 20 | 120 | 200 | 30 | 110 | 200 |
| 10 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905480 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 7 | 140 | 200 | 10 | 130 | 200 | 20 | 120 | 200 | 30 | 110 | 200 |
| 11 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905480 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 7 | 140 | 200 | 10 | 130 | 200 | 20 | 120 | 200 | 30 | 110 | 200 |
| 12 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905480 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 7 | 140 | 200 | 10 | 130 | 200 | 20 | 120 | 200 | 30 | 110 | 200 |
| 13 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905481 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 7 | 140 | 200 | 10 | 130 | 200 | 20 | 120 | 200 | 30 | 110 | 200 |
| 14 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905481 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 7 | 140 | 200 | 10 | 130 | 200 | 20 | 120 | 200 | 30 | 110 | 200 |
| 15 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905481 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 7 | 140 | 200 | 10 | 130 | 200 | 20 | 120 | 200 | 30 | 110 | 200 |
| 16 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905481 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 7 | 140 | 200 | 10 | 130 | 200 | 20 | 120 | 200 | 30 | 110 | 200 |
| 17 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905482 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 103 | 7 | 140 | 200 | 10 | 130 | 200 | 20 | 120 | 400 | 20 | 130 | 400 |
| 18 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905482 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 103 | 7 | 140 | 200 | 10 | 130 | 200 | 20 | 120 | 400 | 20 | 130 | 400 |
| 19 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905482 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 103 | 7 | 140 | 200 | 10 | 130 | 200 | 20 | 120 | 400 | 20 | 130 | 400 |
| 20 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905444 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 7 | 140 | 500 | 150 | 130 | 500 | 150 | 120 | 500 | 150 | 110 | 500 |
| 21 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905444 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 7 | 140 | 500 | 150 | 130 | 500 | 150 | 120 | 500 | 150 | 110 | 500 |
| 22 | 2064 | 2002568 | 50 | 33 | Yen 11 | 4905444 | BOS | +2 | 30kan Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 108 | 7 | 140 | 500 | 150 | 130 | 500 | 150 | 120 | 500 | 150 | 110 | 500 |
| 23 | 1619 | 2002073 | 50 | 31,5 | Yen 11 | 4905415 | BOS | +3 | 30kĖhim Gr | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 105 | 4 | 140 | 600 | 10 | 130 | 600 | 20 | 120 | 600 | 20 | 110 | 600 |
| 24 | 1619 | 2002073 | 50 | 31,5 | Yen 11 | 4905415 | BOS | +3 | 30kĖhim Gr | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 105 | 4 | 140 | 600 | 10 | 130 | 600 | 20 | 120 | 600 | 20 | 110 | 600 |
| 25 | 1619 | 2002073 | 50 | 31,5 | Yen 11 | 4905415 | BOS | +3 | 30kĖhim Gr | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 105 | 4 | 140 | 600 | 10 | 130 | 600 | 20 | 120 | 600 | 20 | 110 | 600 |
| 27 | 1666 | 2002121 | 50 | 33 | Dym 5 | 4905413 | BOS | +2 | 30k 20 Simi | Kuvvatarak | OMAN | 2 | 110 | 4 | 140 | 600 | 10 | 130 | 600 | 20 | 120 | 600 | 20 | 110 | 600 |

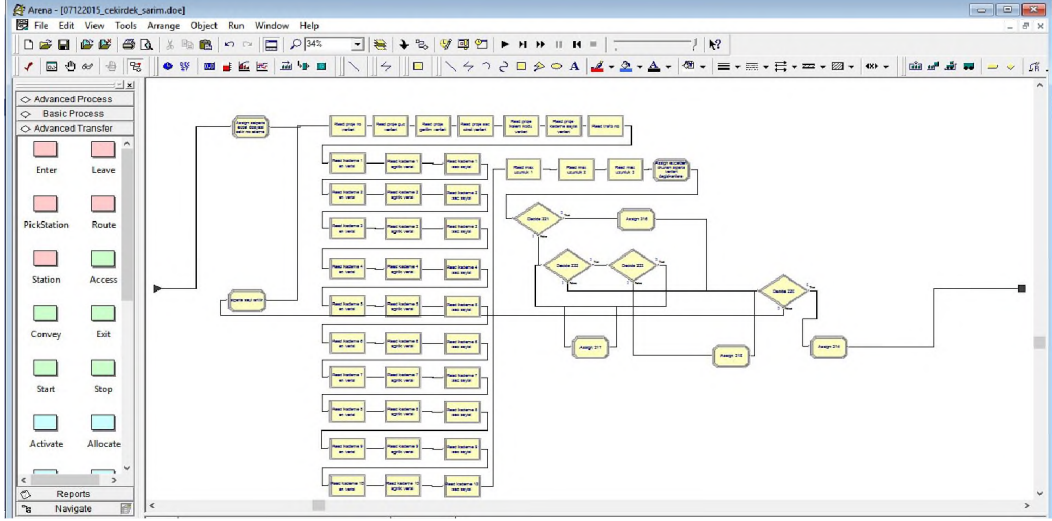
Şekil 4.3 : Çekirdek sipariş ve tasarım bilgileri excel dosyası ekran görüntüsü

Modelde kullanılacak bilgiler için öncelikle sac stok bilgilerinin ve sac çekirdek sipariş bilgileri Excel dosyasından Şekil 4.4'te verildiği gibi okutulur.



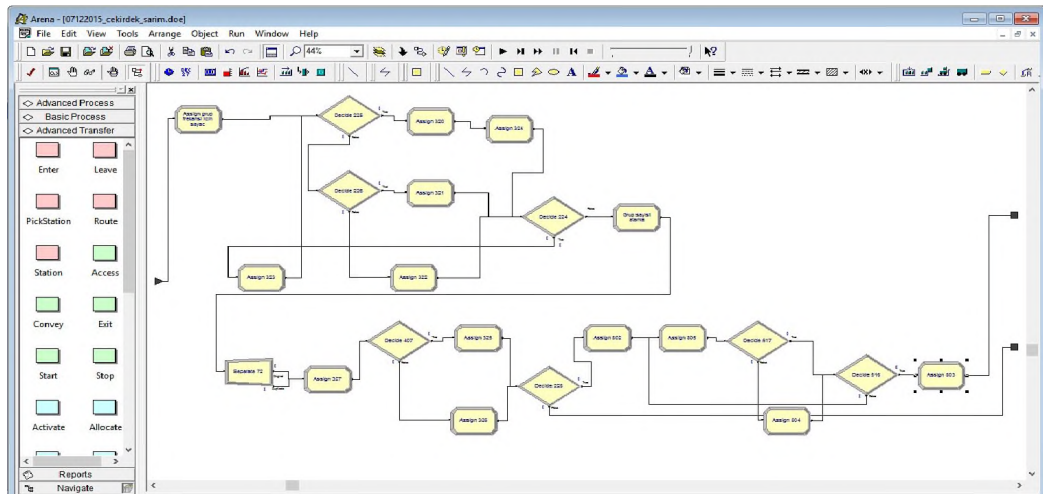
Şekil 4.4: Submodel stok ve sipariş bilgilerinin okunması

Excel dosyasından sipariş bilgilerinin okunmasına ilişkin detay simülasyon modeli Şekil 4.5’de verilmiştir.



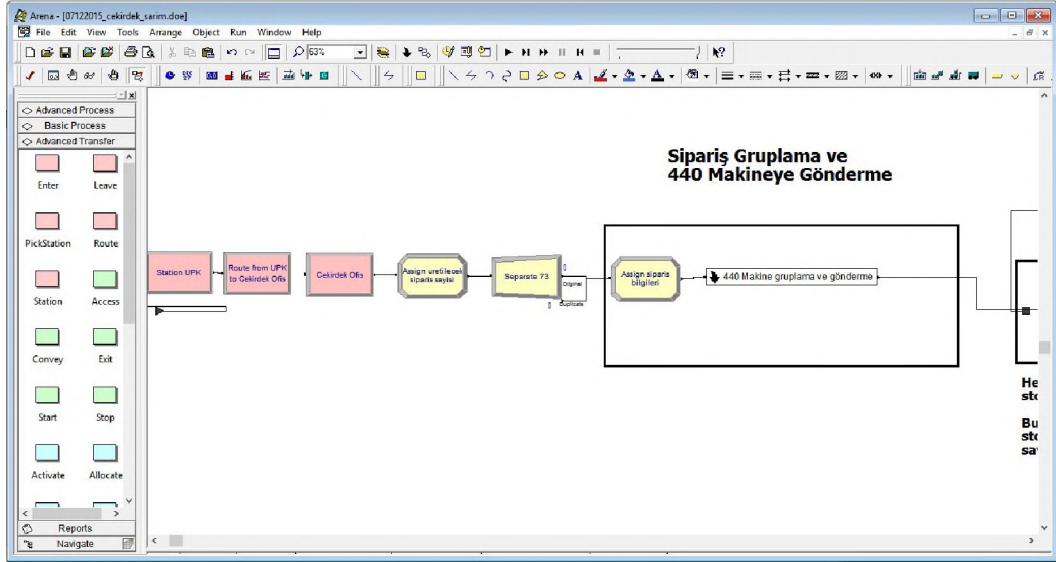
Şekil 4.5: Submodel çekirdek sipariş bilgilerinin okunmasının detayı

Sipariş bilgileri Excel dosyasından okunduktan sonra 440 makineye aynı özelliklere sahip trafoların gruplanarak kesilmesi amaçlandığı için, aynı kalem koduna sahip trafolar Şekil 4.5’de verildiği üzere simülasyon modelinde gruplanmaktadır



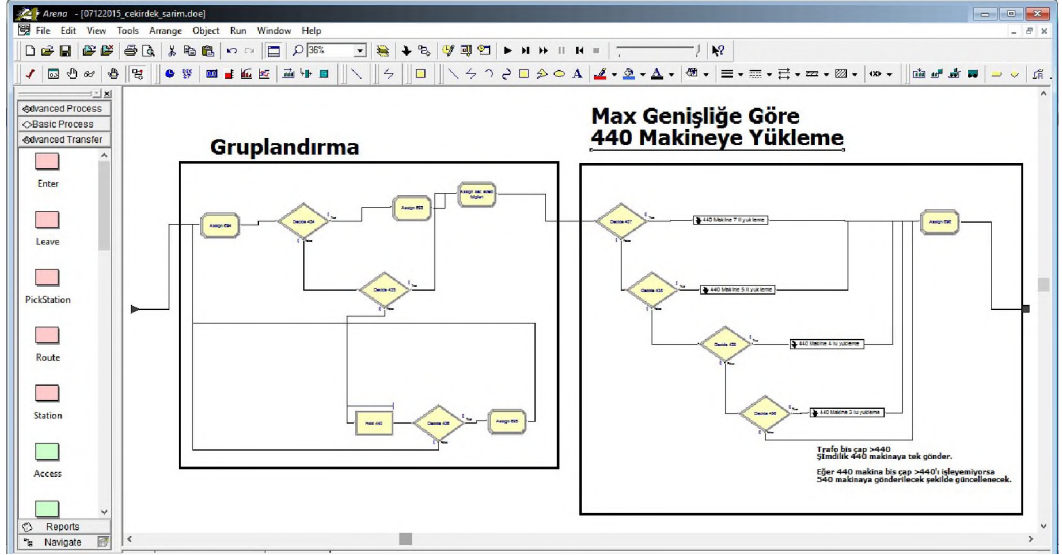
Şekil 4.6: Submodel aynı trafoların gruplandırılması

Modelde Excelden okunan her bir çekirdek için seperate modülü ile bir varlık oluşturulmakta ve her bir varlığa Proje No, Trafo No, Güç, Kalem Kodu, Sac Cinsi, Çekirdek Çapı, Kademe (1, 2, 3, ...), Sac Adedi (1, 2, 3, ...), Kademe Ağırlık (1, 2, 3, ...), Sac L boyları özellikleri Şekil 4.6’da verildiği üzere atanmaktadır.



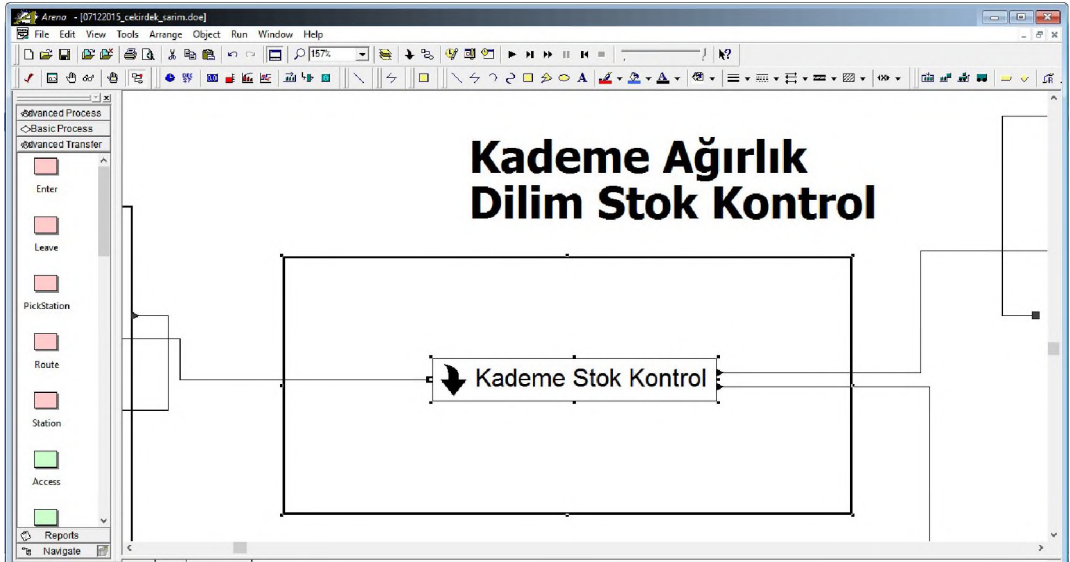
Şekil 4.7: Çekirdek iş varlıklarının oluşturulması

Şekil 4.7’de verildiği şekliyle iş varlıkları oluşturulduktan sonra Şekil 4.8’de verildiği üzere oluşturulan varlıkların atanan özelliklerine göre aynı proje numarasına sahip trafolar, daha önce oluşturulan grup özellikleri de kullanılarak, en büyük sac L boyuna göre 3, 4, 5 veya 7’li gruplar halinde atölyeye gönderilmektedir.



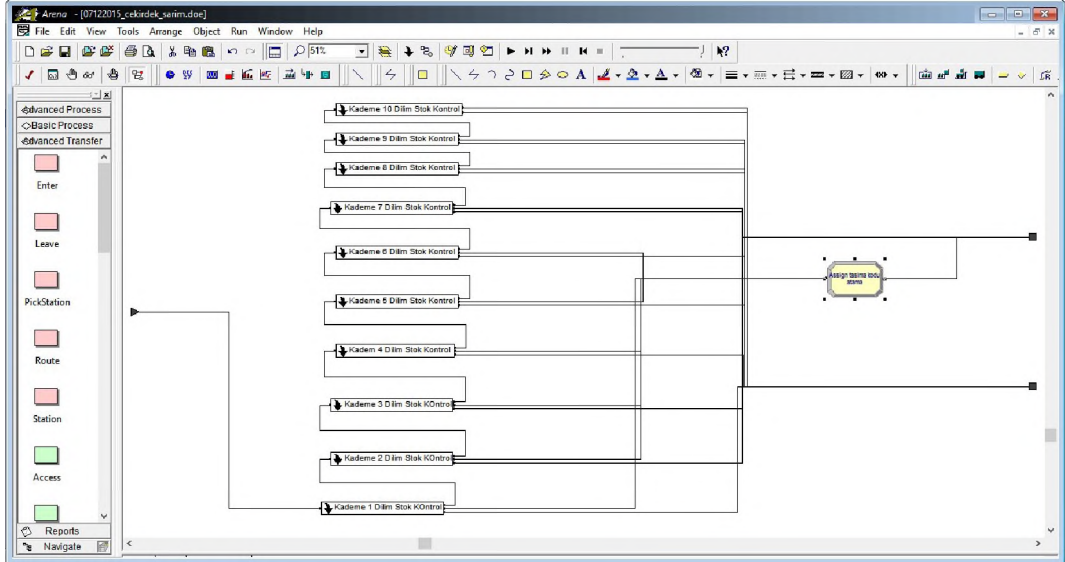
Şekil 4.8: Aynı grup işlerin atölyeye gönderilmesi

Şekil 4.9’da verildiği üzere her bir trafo/grup trafo atölyeye gönderildiğinde daha önce Excel dosyasından okunan stok bilgilerinden kesme işlemi için yeterli dilim stok olup/olmadığı kontrol edilir.



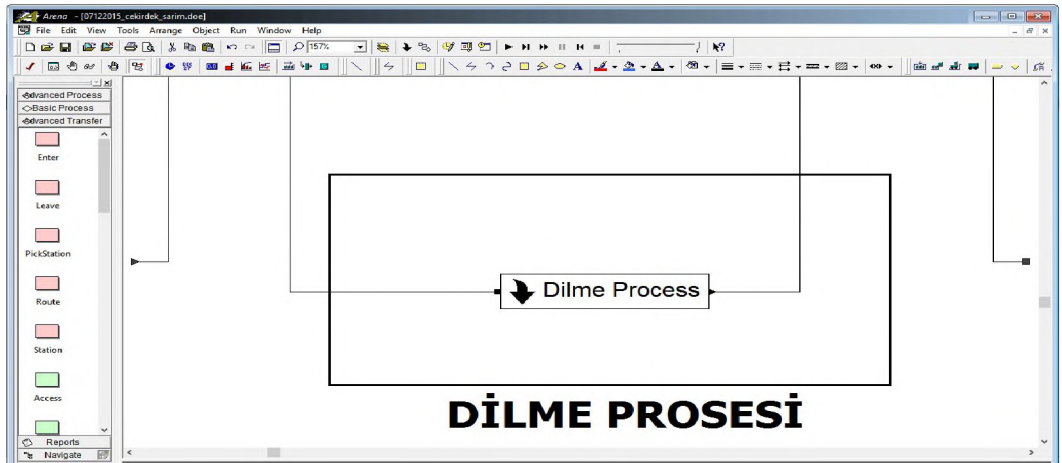
Şekil 4.9: Dilme Stoklarının yeterli olup/olmadığının kontrolü

Dağıtım trafoları incelendiğinde en fazla 10 kademe bulunduğu görülmüştür ve bu nedenle Şekil 4.10'de verildiği üzere bir trafoda en fazla bir 10 kademe olacak şekilde simülasyon modeli oluşturulmuştur.

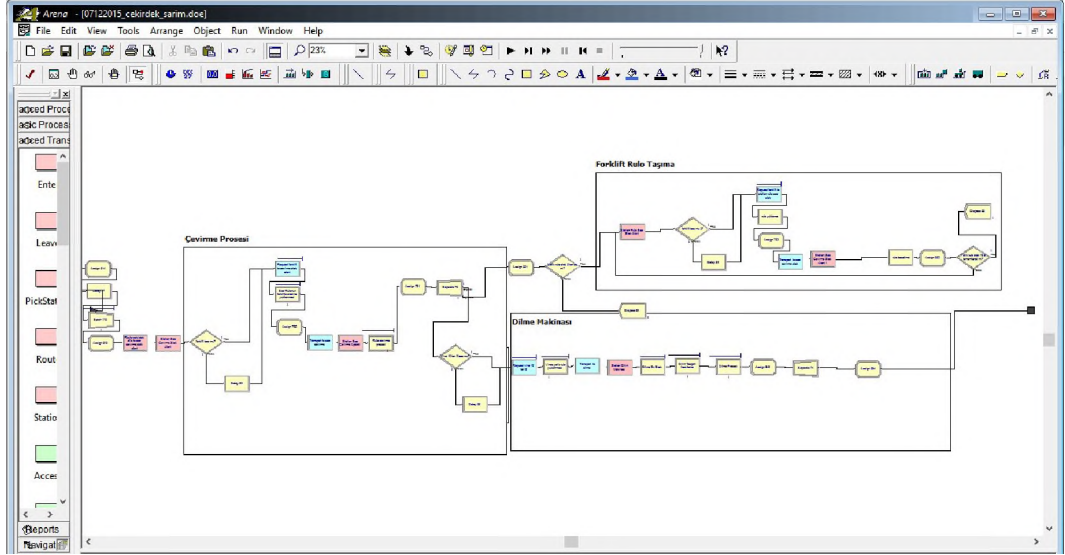


Şekil 4.10: Dilme stok kontrol detay

Eğer stokta yeterince stok yoksa Şekil 4.11'de görüldüğü üzere dilme bölümünde dilme işlemi gerçekleştirilmektedir.

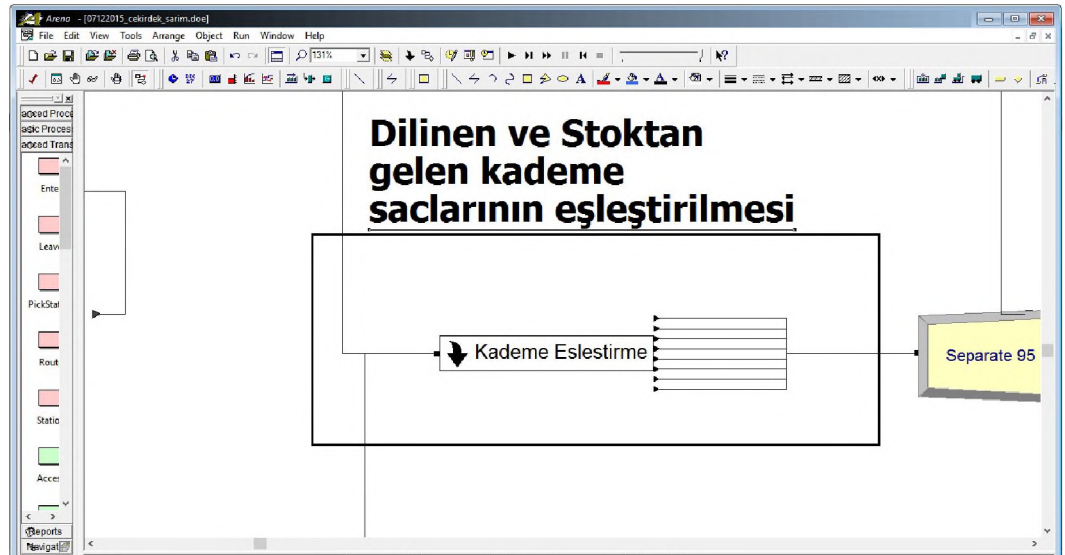


Şekil 4.11: Submodel dilme süreci genel görünüm



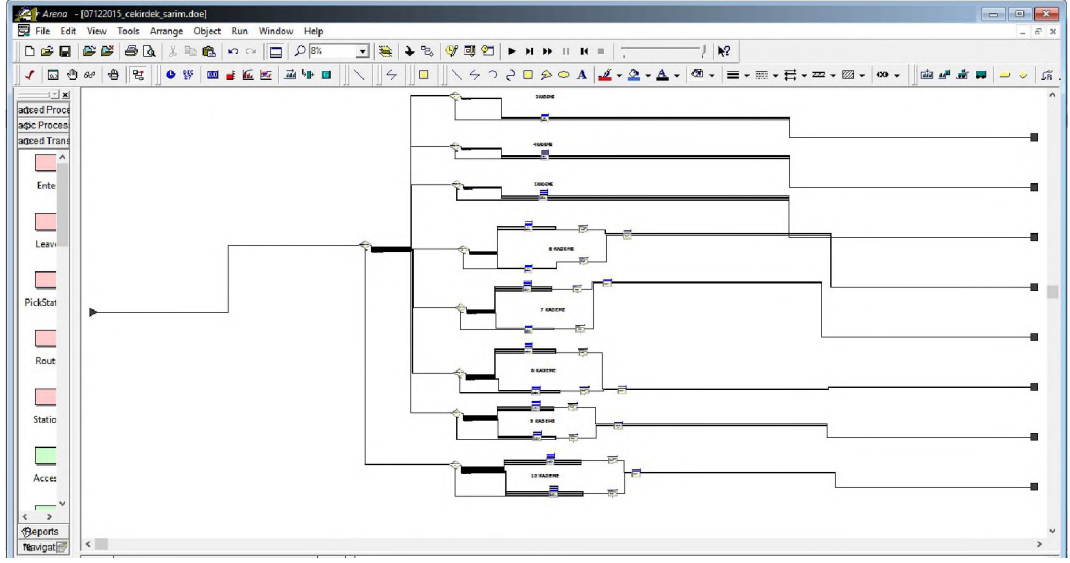
Şekil 4.12: Submodel dilme süreci detay görünüm

Aynı trafoya ait dilme makinasında dilinen ve dilme stoktan gelen dilimler Şekil 4.13’de verildiği üzere modelde eşleştirilmektedir.



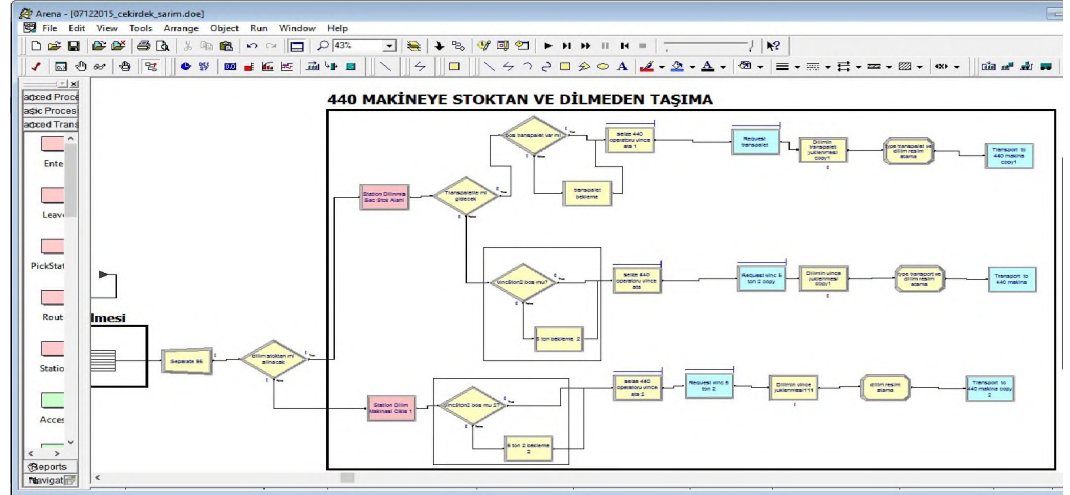
Şekil 4.13: Submodel dilme süreci detay görünüm

Şekil 4.14’de simülasyon modelinde dilme kademe eşleştirme işleminin detayı verilmektedir.



Şekil 4.14: Dilme kademe eşleştirme detay

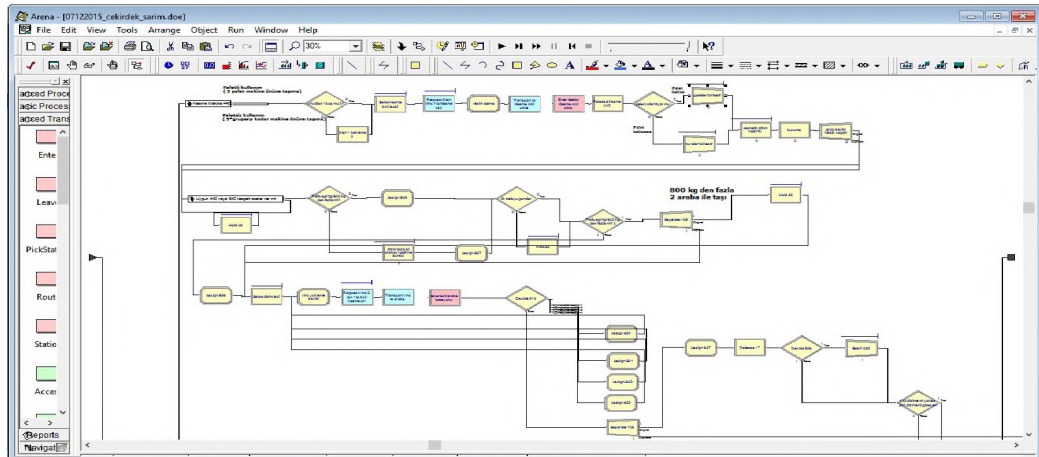
Şekil 4.15’de kademeleri eşleştirilen dilimler, dilme makinasından ve/veya dilim stoktan 440 makineye taşınmaktadır.



Şekil 4.15: 440 Makinaya dilmelerin taşınması

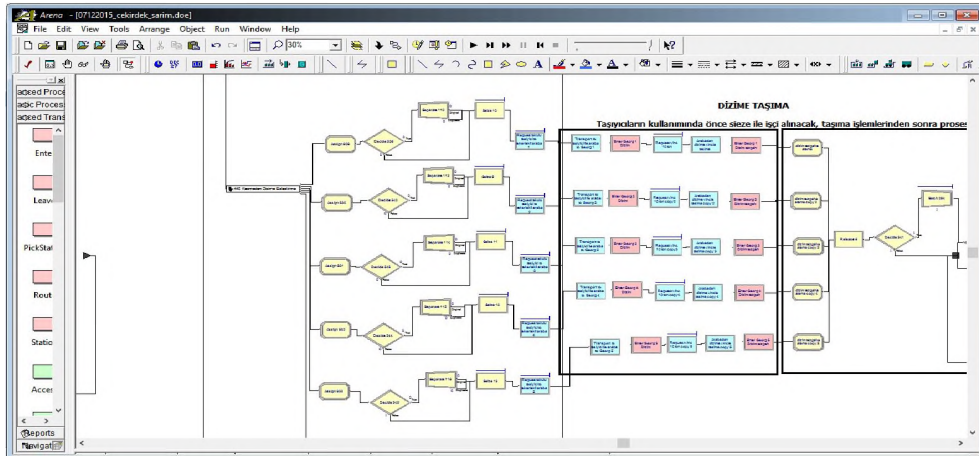
440 Kesme makinasında grup olarak kesilen sacların paletli yada tek tek taşınması özellikle dizim işlem süresinde etkilidir. Kesme işleminin 440 makinada palet üzerine kesilmesi durumunda, grubun her bir trafosunun alt boyunduruk, orta ve yan bacakları tek bir palet üzerinde otomatik dizim makinasına dizilmiş olarak

taşınmakta yüklenmekte ve bu nedenle dizim süresinde büyük kazanç sağlamaktadır. Üst boyunduruk ise ayrıca stok alanına taşınmaktadır. Kullanılabilecek yeterli sayıda palet bulunmaması halinde ise her bir sac grubunun alt boyunduruk, orta ve yan bacaklar ayrı ayrı arabalarda taşınmakta ve tek tek dizim yapıldığı için taşıma ve dizim süresi artmaktadır. Örneğin 7 trafoluk bir grubun 440 makina da kesildiğini varsaydığımızda 7 palet kullanılmakta ve bir palet üzerinde o trafoya ait alt boyunduruk, orta ve yan bacaklar dizili olarak yer almaktadır. Bir palet tek seferde dizim tezgâhına taşınmakta ve dizim işlemi çok kısa zamanda tamamlanmaktadır. Yeterli palet olmadığında ise bu saclar her bir trafo için ayrı ayrı taşınmaktadır. 7 trafoluk bir grupta palet kullanılmaması durumunda her bir trafonun üst boyunduruk, alt boyunduruk, orta ve yan bacaklar için $7 \times 4 = 28$ adet dizim tezgâhlarına taşıma ve 7 adet üst boyunduruk stok alanına taşınmaktadır. Dizim işleminde de alt boyunduruk, orta bacak, yan bacak 1 ve yan bacak 2 sac paketlerinden ayrı ayrı tek tek dizim işlemi yapılmaktadır. İşletmede 440 makinada kullanılabilecek 25 adet palet bulunmaktadır. Şekil 16'da verilen modelde eğer stoklarda yeterli (>4) palet mevcutsa grup kesimleri paletler üzerine yapılmakta ve her bir palet kullanımında stoklardan palet sayısı düşmektedir. Paletler üzerinde dizim işlemi tamamlandığında ise mevcut palet boşa çıkmakta ve stoklardaki palet sayısı artırılmaktadır. Eğer stoklarda yeterince palet yoksa 440 kesme işlemi paletsiz olarak gerçekleştirilmektedir. Trafonun toplam ağırlığı modelde kontrol edilmekte ve trafo toplam ağırlığı 800 kg. dan fazlaysa, sacların dizim tezgâhına taşınmasında iki araba kullanılmaktadır.



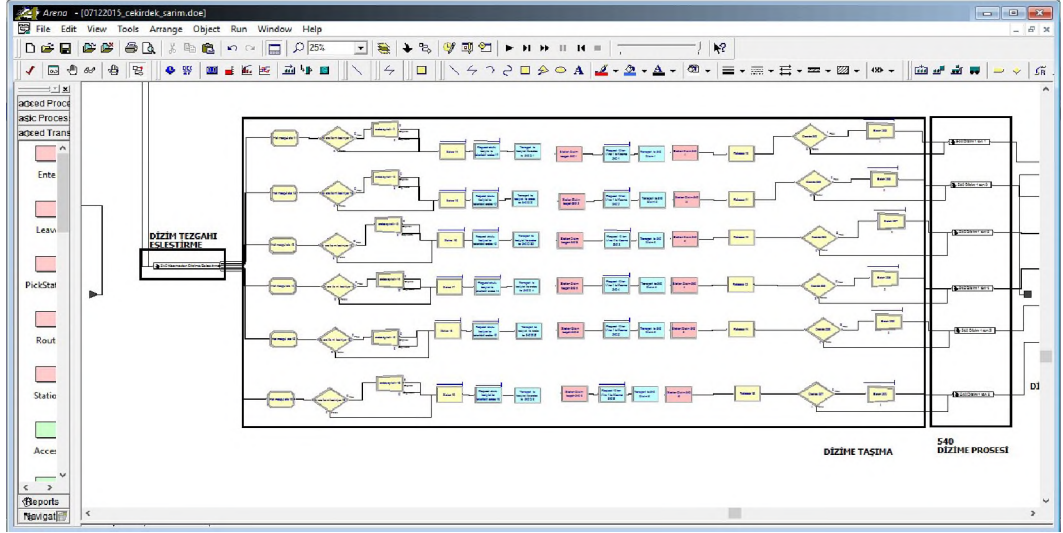
Şekil 4.16: 440 Makinada palet kullanımı

440 Makinada paletli olarak kesilen trafolar, Otomatik Georg Dizim Tezgâhlarında; paletsiz olarak kesilen uygun ağırlıktaki trafolar ise Manuel Dizim Tezgâhlarında dizilmektedir. Şekil 4.17’de verildiği üzere 440 Makinadan paletli olarak çıkan saclar otomatik dizim tezgâhlarına taşınmaktadır. Çekirdek fabrikasında 1 adet 1 ton, 2 adet 2 ton, 1 adet 3 ton ve 1 adet 4.5 ton kapasiteli otomatik dizim tezgâhı mevcuttur. Dizim tezgâhına yüklenecek trafoların toplam ağırlığı kontrol edilmekte ve buna göre uygun dizim tezgâhına atanması yapılmaktadır. Uygun ve boş dizim tezgâhı bulunmaması halinde ise dizim işi kuyruğa atılmakta, dizim tezgâhlarından birinin boşalmasıyla gönderilen sinyal ile dizim işi kuyruktan çıkarılarak, uygun dizim makinasına yönlendirilmektedir.



Şekil 4.17: Dizim işlerinin otomatik dizim tezgâhlarına atanması

Şekil 4.18’de de verildiği üzere eğer trafo 440 makinada paletsiz olarak kesilmişse manuel dizim tezgâhlarına gönderilir. İşletme 6 adet 1 ton kapasiteli manuel dizim tezgâhı mevcuttur. Otomatik dizim tezgâhlarındaki işleyişe benzer şekilde trafolar manuel dizim tezgâhlarına atanır. Boşta manuel dizim tezgâhı bulunmaması halinde ise dizim işi kuyruğa atılmakta, dizim tezgâhlarından birinin boşalmasıyla gönderilen sinyal ile dizim işi kuyruktan çıkarılarak, uygun dizim tezgâhına yönlendirilmektedir.

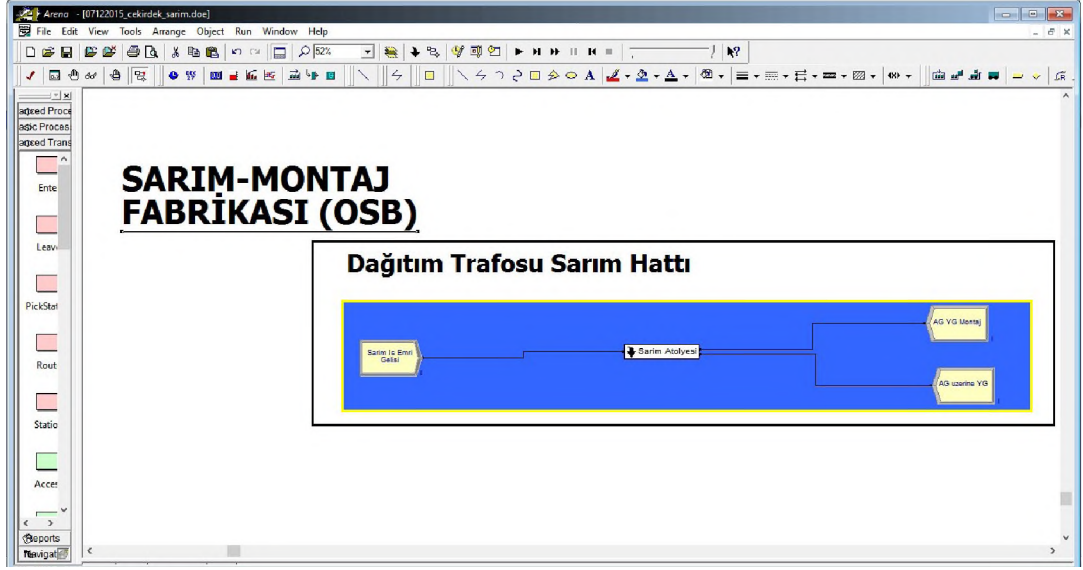


Şekil 4.18: Dizim işlerinin manuel dizim tezgâhlarına atanması

Dizim işleminin bitimiyle trafo nüvesi stok alanına taşınmakta ve aynı trafo numarasına sahip, üst boyundurukla eşleştirilerek, montaj atölyesine taşınmaya hazır hale gelmektedir.

4.4.2 Sarım Atölyesi Arena Simülasyon Modeli

Trafo sarım işlemleri, işletmenin Ağır Sanayi Bölgesindeki fabrikasındaki Sarım Atölyesinde gerçekleştirilmektedir. Sarım atölyesinin en üst seviye simülasyon modeli Şekil 4.19’da verilmiştir.



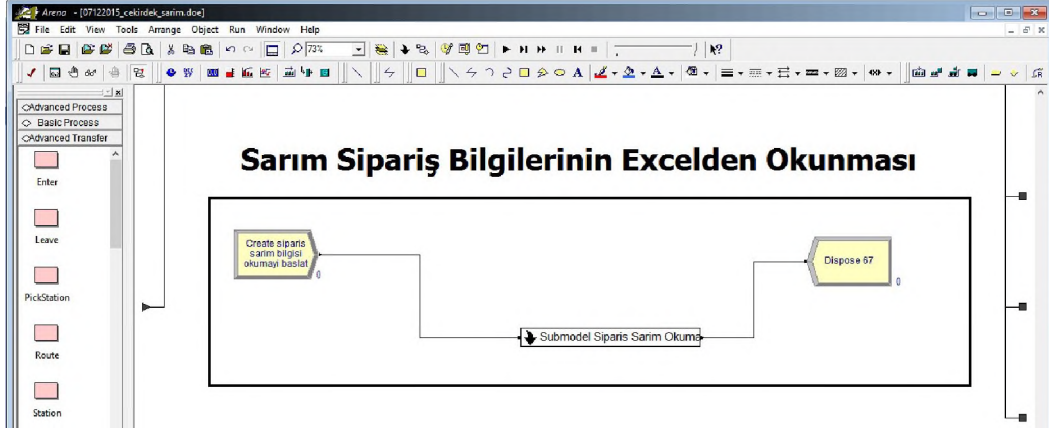
Şekil 4.19: Dağıtım trafosu sarım hattı simülasyonu genel görünüm

Modelde, varlıkların doğru şekilde yönlendirilmesi ve işlem süreleri için sipariş ve tasarım bilgilerinden Alçak Gerilim (AG) iletken cinsi, AG sargı cinsi, AG iletken adedi, AG kanal sayısı, AG kat sayısı, Yüksek Gerilim (YG) iletken cinsi, YG sargı cinsi, YG iletken adedi, YG kanal sayısı, YG kat sayısı özellikleri belirlenmiş ve bu özellikleri içeren Şekil 4.20’de verilen ve hali hazırda firmanın benzer dosyaları hazırladığı örnek Excel dosyası oluşturulmuştur.

| | E | F | G | H | I | J | BD | BE | BF | BG | BH | BI | BJ | BK | BL | BM | BN | BO | BP | |
|----|----------|-----|---------|----------|------------|------------------|----------------|------------|------------------|-----------------|---------------|------------------|----------------|------------|------------------|-----------------|---------------|------------|----|---|
| 1 | Trafo No | Güç | Gerilim | Bağlantı | Kalem Kodu | AG iletken Cinsi | AG Sargı cinsi | AG iletken | AG iletken Adedi | AG Kanal Sayısı | AG Kat sayısı | YG iletken Cinsi | YG Sargı cinsi | YG iletken | YG iletken Adedi | YG Kanal Sayısı | YG Kat sayısı | Bobin Tipi | | |
| 2 | 53427 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905478 | BOSTA | 1 | 1 | 6.7X5.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 20 | 1 |
| 3 | 53428 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905478 | BOSTA | 1 | 1 | 17.8X4.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 1 |
| 4 | 53429 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905478 | BOSTA | 1 | 1 | 17.8X5.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 18 | 1 |
| 5 | 53470 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905478 | BOSTA | 2 | 1 | 17.8X6.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 1 |
| 6 | 53471 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905478 | BOSTA | 2 | 1 | 17.8X5.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 1 |
| 7 | 53472 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905478 | BOSTA | 2 | 1 | 17.8X6.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 1 |
| 8 | 53473 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905478 | BOSTA | 2 | 1 | 17.8X8.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 1 |
| 9 | 53474 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905480 | BOSTA | 2 | 1 | 17.8X6.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 1 |
| 10 | 53475 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905480 | BOSTA | 1 | 1 | 17.8X5.3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 1 |
| 11 | 53476 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905480 | BOSTA | 2 | 1 | 17.8X6.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 1 |
| 12 | 53477 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905480 | BOSTA | 2 | 1 | 17.8X6.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 1 |
| 13 | 53478 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905481 | BOSTA | 2 | 1 | 27.8X6.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 1 |
| 14 | 53479 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905481 | BOSTA | 2 | 1 | 26.8X3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 23 | 1 |
| 15 | 53480 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905481 | BOSTA | 2 | 1 | 27.8X6.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 24 | 1 |
| 16 | 53481 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905481 | BOSTA | 1 | 1 | 26.8X5 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 16 | 1 |
| 17 | 53482 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905482 | BOSTA | 2 | 1 | 17.8X6.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 1 |
| 18 | 53483 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905482 | BOSTA | 2 | 1 | 17.8X6.8 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 1 |
| 19 | 53484 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905482 | BOSTA | 1 | 1 | 16.8X3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 20 | 1 |
| 20 | 53484 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905444 | BOSTA | 1 | 1 | 26.8X5 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 16 | 1 |
| 21 | 53484 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905444 | BOSTA | 1 | 1 | 26.8X5 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 16 | 1 |
| 22 | 53484 | 50 | 33 | vzm | 11 | 4905444 | BOSTA | 1 | 1 | 26.8X5 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 16 | 1 |
| 23 | 53485 | 50 | 32 | vzm | 11 | 4905415 | BOSTA | 2 | 1 | 15.6X4.5 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 14 | 1 |
| 24 | 53485 | 50 | 32 | vzm | 11 | 4905415 | BOSTA | 2 | 1 | 15.6X4.5 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 14 | 1 |
| 25 | 53485 | 50 | 32 | vzm | 11 | 4905415 | BOSTA | 2 | 1 | 15.6X4.5 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 14 | 1 |
| 26 | 53485 | 50 | 32 | vzm | 11 | 4905415 | BOSTA | 2 | 1 | 15.6X4.5 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 14 | 1 |
| 27 | 53486 | 50 | 32 | Dym | 5 | 4905413 | BOSTA | 1 | 1 | 16.8X3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 16 | 1 |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

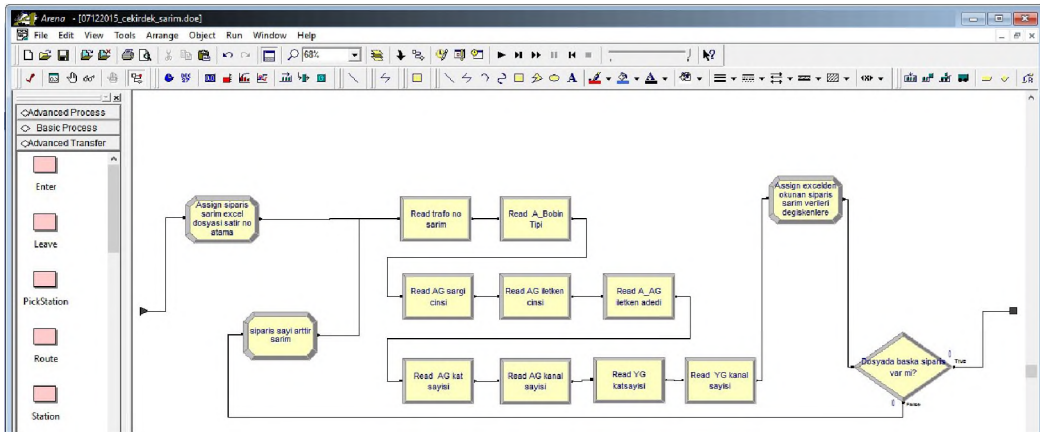
Şekil 4.20: Sarım sipariş ve tasarım bilgileri Excel dosyası ekran görüntüsü

Simulasyon modeli Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de görüldüğü üzere öncelikle sarım sipariş ve tasarım bilgilerinin bulunduğu Excel dosyasından okunmaktadır.



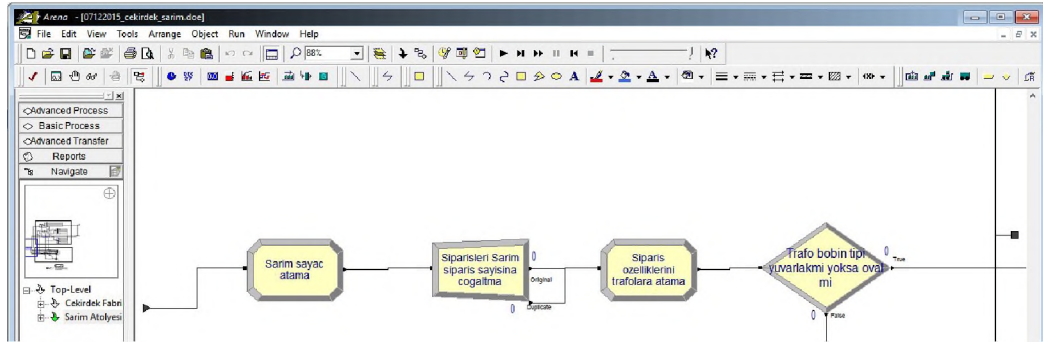
Şekil 4.21: Submodel sarım sipariş bilgilerinin okunması

Sarım atölyesinde AG ve YG bobin sarımları gerçekleştirilmekte; çekirdeğin şekline göre ise Oval ve Yuvarlak Sarım yapılmaktadır. AG sarım işleminde bant ve kat sarım olmak üzere iki farklı sarım söz konusudur. YG sarımda sadece kat sargı kullanılmakta ancak sargı çeşidi emaye ve profil olabilmektedir.



Şekil 4.22: Submodel sarım sipariş bilgilerinin okunmasının detayı

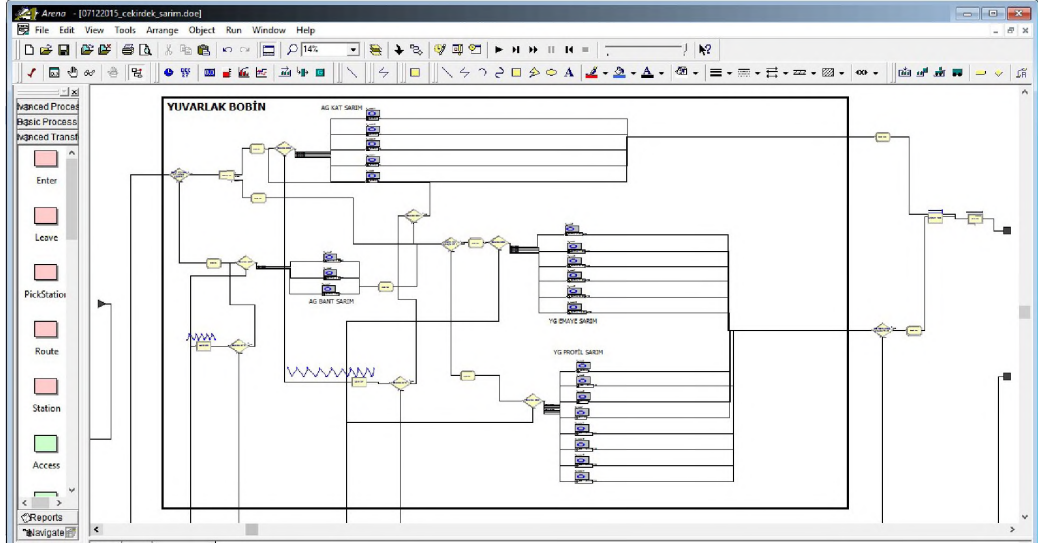
Excelden okunan her bir işe ait Trafo numarası, AG iletken cinsi, AG sargı cinsi, AG iletken adedi, AG kanal sayısı, AG kat sayısı, YG iletken cinsi, YG sargı cinsi, YG iletken adedi, YG kanal sayısı, YG kat sayısı bilgileri Şekil 4.23'deki gibi her bir trafoya bu bilgiler özellik olarak atanmaktadır.



Şekil 4.23: Sarım özelliklerinin işlere atanması

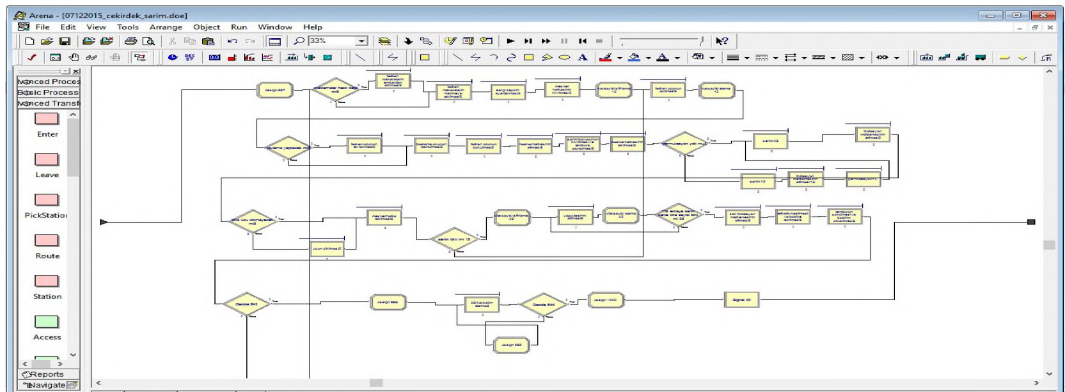
Simülasyon modelinde her bir trafo, A_bobin tipi özelliğindeki tanımına göre ikiye ayrılmaktadır. Şekil 23'de sarım atölyesinde bobin tipi yuvarlak trafoların sarım işlemi gösterilmiştir.

Sarım atölyesinde sarım işleminde kullanılan 14 makine bulunmaktadır. Şekil 4.24'de verilen simülasyon modelinde 5, 12, 13, 14 no'lu tezgâhlarda Yuvarlak AG Kat Sarım; 1, 6, 7, 8, 9, 10 no'lu tezgâhlarda Yuvarlak YG Emaye Sarım yapılabilmektedir. Modelde 1, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14 no'lu tezgâhlarda Yuvarlak YG Profil Sarım; 1, 6, 7, 9, 10 no'lu tezgâhlarda Oval YG Emaye Sarım ve 1, 6, 7 no'lu tezgâhlarda Oval YG Profil Sarım yapılabilmektedir. Modelde 2, 3, 4 ile gösterilen tezgâhlarda hem Oval hem de Yuvarlak bobin AG bant sarım yapılabilmektedir. Şekil 4.24'de yuvarlak bobin AG ve YG sarım işlemleri modellenmiştir.



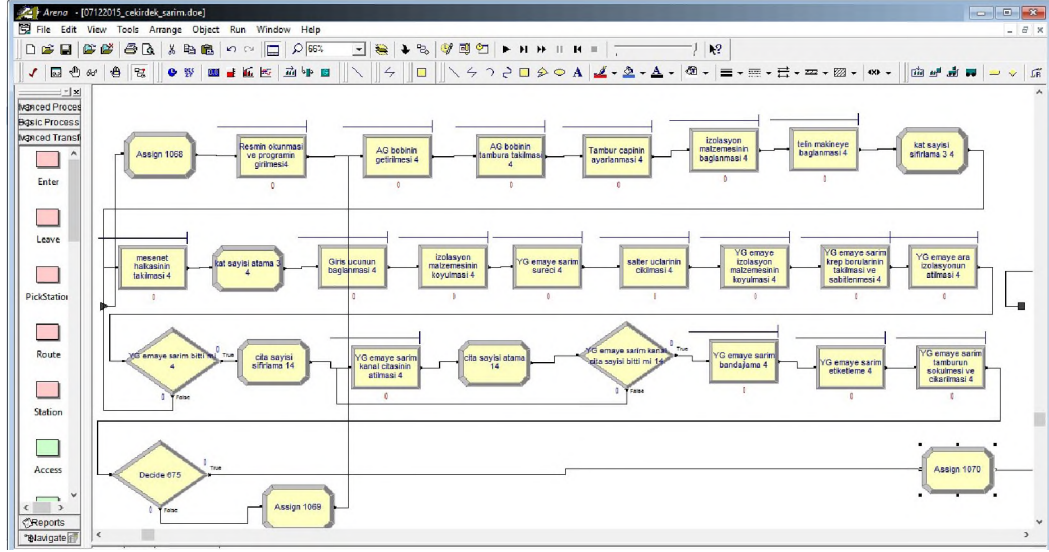
Şekil 4.24: Yuvarlak bobin AG/YG sarım işlemleri

Modelde öncelikle sarımı yapılacak yuvarlak bobinler A_sargı cinsi özelliğine göre Kat Sargı veya Bant Sargı bölümüne gönderilmektedir. Kat Sarımı yapılacak Yuvarlak bobinin AG ve YG sarım işlemleri aynı anda farklı makinelerde yapılabilmekte ve her iki sarım bitirildikten sonra birleştirilmektedir. Bu nedenle modelde Yuvarlak bobin Kat Sargı bölümüne gelen varlıklar "seperate" modülü ile ikiye çoğaltılmakta ve varlıklardan biri AG Kat Sarım bölümüne (5,11,12,13,14 no'lu makinalara), diğeri ise YG Kat Sarım bölümüne gönderilmektedir. 5,11,12,13,14 no'lu sarım makinalarında özdeş olarak gerçekleştirilen AG Kat Sarım işleminin simülasyon modeli Şekil 4.25'de verilmiştir.



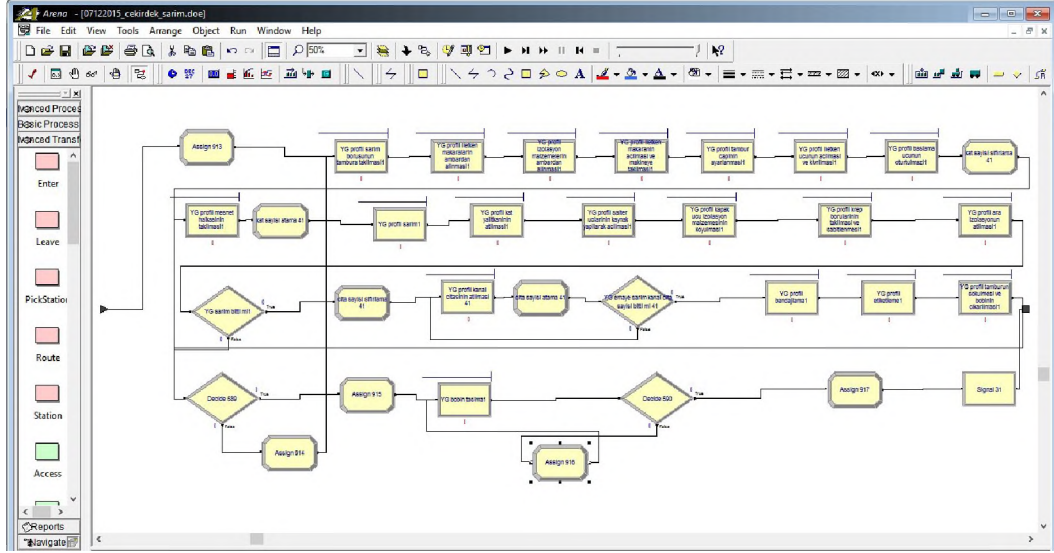
Şekil 4.25: AG kat sarım simülasyonu

YG Kat Sarım işleminde "emaye" ve "profil" olmak üzere iki farklı sarım mümkündür. YG emaye sarım yapılacak trafolar 1, 6, 7, 8, 9, 10 no'lu makinalara gönderilmekte, işlemleri bu makinalarda tamamlanmaktadır. 1, 6, 7, 8, 9, 10 no'lu sarım makinalarında özdeş olarak gerçekleştirilen YG Emaye Kat Sarım işleminin simülasyon modeli Şekil 4.26'da verilmiştir.



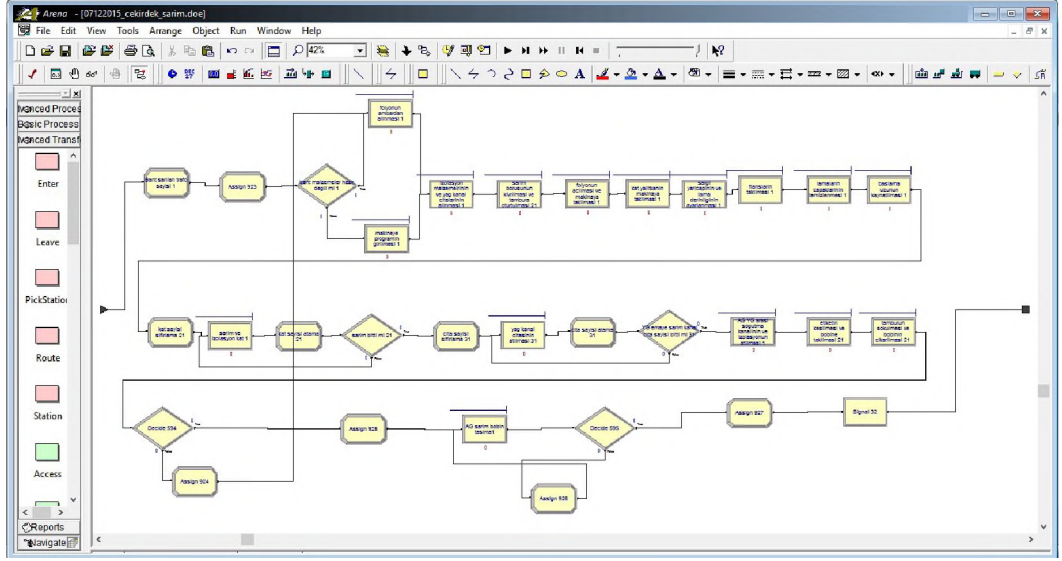
Şekil 4.26: YG Emaye kat sarım simülasyonu

YG profil sarım yapılacak trafolar ise 1, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14 no'lu makinalarda sarılmaktadır. 1, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14 no'lu sarım makinalarında özdeş olarak gerçekleştirilen YG Profil Kat Sarım işleminin simülasyon modeli Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.27: YG profil kat sarım simülasyonu

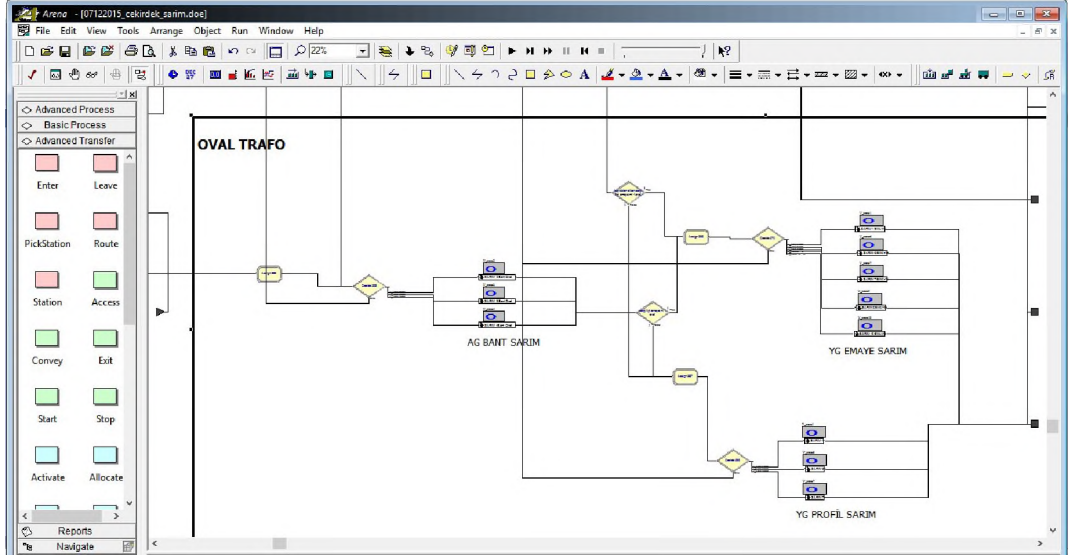
Aynı trafoya AG ve YG sarımları tamamlanan Yuvarlak Kat Sargı AG Bobin ve Emaye/Profil YG Bobin, son aşamada Match modülü ile eşleştirilir ve Batch modülü ile birleştirilir. AG bölümüne bant sarımı yapılacak trafolarla YG kat sarımı, emaye yada profil olarak AG bant üzerine yapılmaktadır ve bu nedenle önce AG bant sarım işleminin tamamlanması ve YG kat sarım işleminin devamında AG üzerine yapılması gerekir. Bu nedenle AG bant sarım yapılacak varlıklar, 2, 3, 4 no'lu sarım makinalarına gönderilir ve bu makinalardan birinde sarım işlemi yapılır, devamında YG emaye sarım yapılacak trafolar 1, 6, 7, 9, 10 no'lu makinalara gönderilir ve işlemleri bu makinalarda tamamlanır. YG profil sarım yapılacak trafolar ise 1, 5, 6, 7, 11, 12, 13 ,14 no'lu makinalarda sarılır. 2, 3, 4 no'lu sarım makinalarına özdeş olarak gerçekleştirilen AG Bant Sarım işleminin simülasyon modeli Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.28: AG bant sarım simülasyonu

AG Bant Sarım üzerine YG Emaye yada YG Profil Kat sarım işlemi ve simülasyonu Şekil 4.26’da verilen YG Emaye ve Şekil 4.27’de verilen YG Profil Kat Sarım ile aynıdır. Yuvarlak Bobin AG Bant/Kat ve YG Kat Emaye/Profil sarım işlemleri için boş makina bulunamaması halinde varlıklar kuyruğa alınmakta, makinalardan birinin boşalmasıyla gönderilen sinyalle varlıklar kuyruktan çıkarılmakta ve boş makinaya ilk varlık atandıktan sonra, diğer varlıklar tekrar kuyruğa alınmaktadır.

Sarım atölyesine gelen ve Excel dosyasından alınan ve trafoya atanan A_bobin tipi özelliğine göre Oval Bobin olarak nitelenen trafolar simülasyon modelinde Oval Bobin Sarım bölümüne gönderilmektedir. Aşağıda verilen Şekil 4.29’da Oval Bobin Sarım işlemlerinin simülasyon modeli verilmiştir.



Şekil 4.29: Oval bobin AG/YG sarım işlemleri

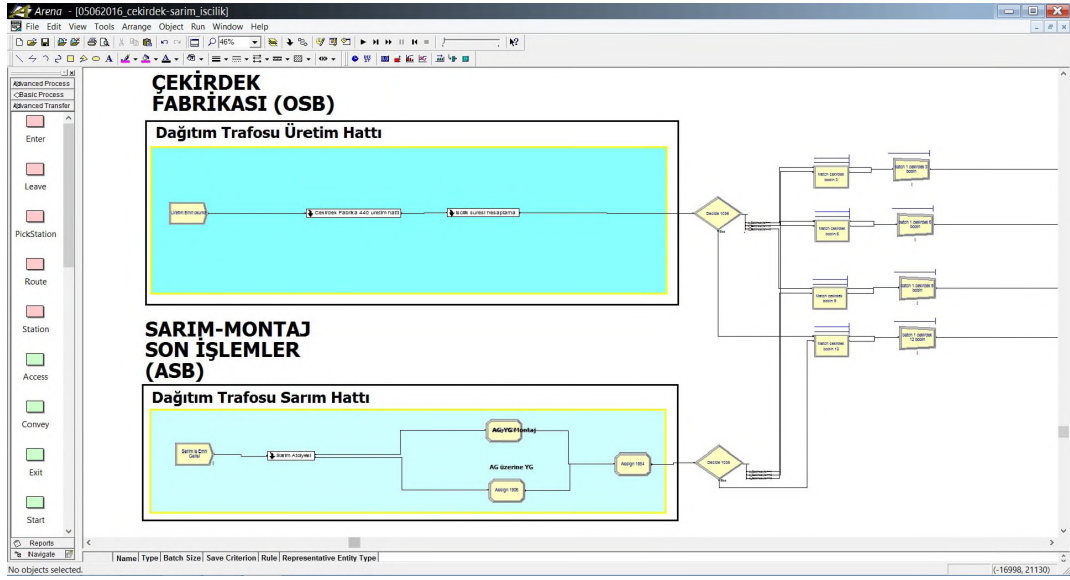
Oval bobin AG sarım işlemi sadece bant sarım olarak gerçekleştirilmektedir. Oval bobin bölümüne gelen işler 2, 3 veya 4 no'lu sarım makinalarına gönderilmekte ve bu makinalarda AG Bant Sarım işlemi gerçekleştirilmektedir. Oval bobin AG Bant Sarımdaki süreçlerin simülasyon modeli, Yuvarlak Bobin Bant Sarımdaki süreçlerin simülasyon modeli ile aynıdır ve Şekil 4.29'da verilmiştir.

Oval Bobin tipinde, Yuvarlak Bobin tipinde olduğu gibi AG Bant üzerine Emaye yada Profil (siparişin ve projenin özelliğine göre) YG Kat Sarım yapılmaktadır. Oval AG Bant Sarım üzerine YG emaye sarım yapılacak trafolar 1, 6, 7, 9, 10 no'lu makinalara gönderilir ve işlemleri bu makinalarda tamamlanır. Oval AG Bant Sarım üzerine YG profil sarım yapılacak trafolar ise 1, 6, 7 no'lu makinalarda sarılır. Oval Bobin YG Emaye/Profil Kat Sarımdaki süreçlerin simülasyon modeli, Yuvarlak Bobin YG Emaye/Profil Kat Sarımdaki süreçlerin simülasyon modeli ile aynıdır ve Şekil 4.29'da verilmiştir.

Oval Bobin AG Bant ve YG Kat Emaye/Profil sarım işlemleri için boş makina bulunamaması halinde varlıklar kuyruğa alınmakta, makinalardan birinin boşalmasıyla gönderilen sinyalle varlıklar kuyruktan çıkarılmakta ve boş makinaya ilk varlık atandıktan sonra, diğer varlıklar tekrar kuyruğa alınmaktadır.

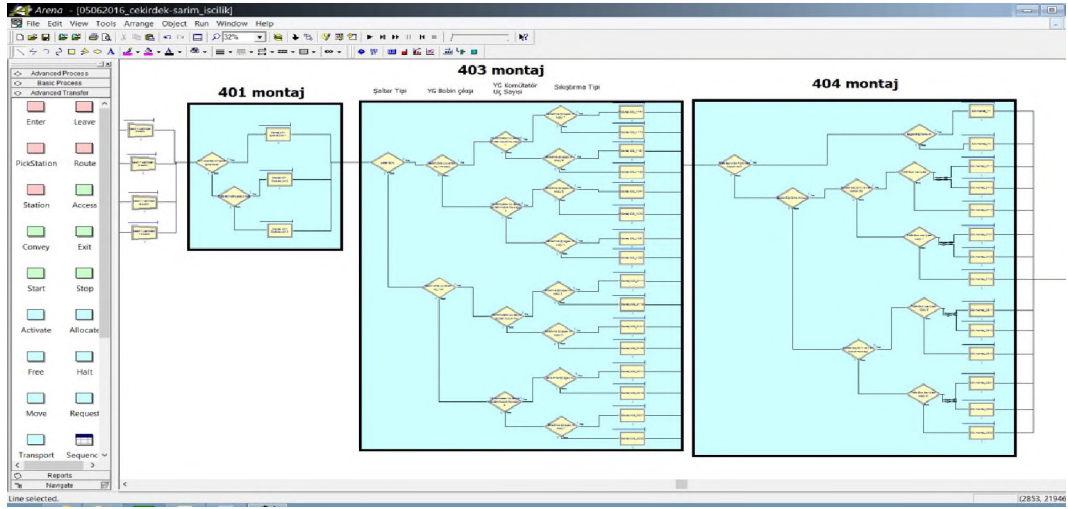
4.4.3 Montaj Atölyesi Arena Simülasyon Modeli

Sipariş numarasına göre üretilen çekirdekler üzerine ilgili sipariş için üretilen bobinler monte edilmektedir. Aynı sipariş numarasına sahip çekirdekler ve bobinlerin, montaj işlemi öncesinde eşleştirilmesi gerekir. Şekil 4.30'da aynı sipariş numaralı çekirdek ve bobinlerin Arena'da eşleştirilmesine ilişkin model parçası verilmiştir.



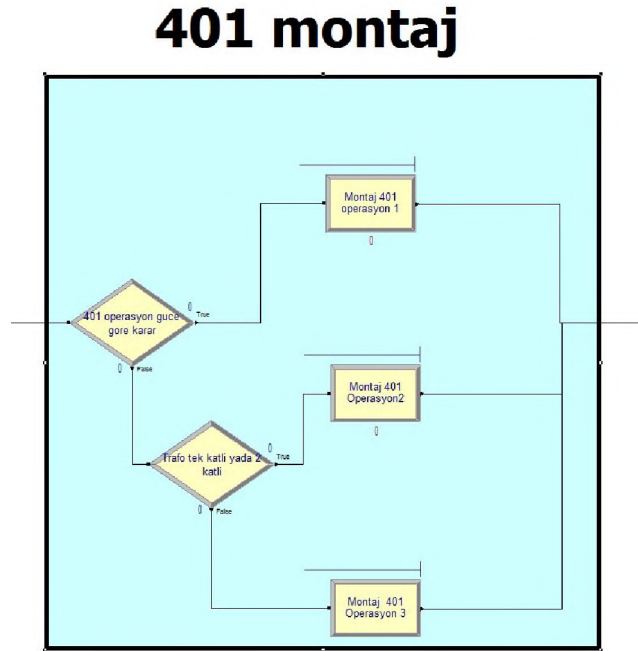
Şekil 4.30: Çekirdek bobin eşleştirme

Bir çekirdek üzerine geçirilecek bobin sayısı 3, 6, 9 veya 12 olabilmektedir, bu nedenle sipariş bilgilerinde bobin sayısına göre modelde 4 farklı eşleştirme olabilir. Montaj bölümünde sipariş numarasına göre eşleştirilen çekirdek ve bobinler üzerinde D401, D402 ve D403 Montaj işlemleri gerçekleştirilmektedir.



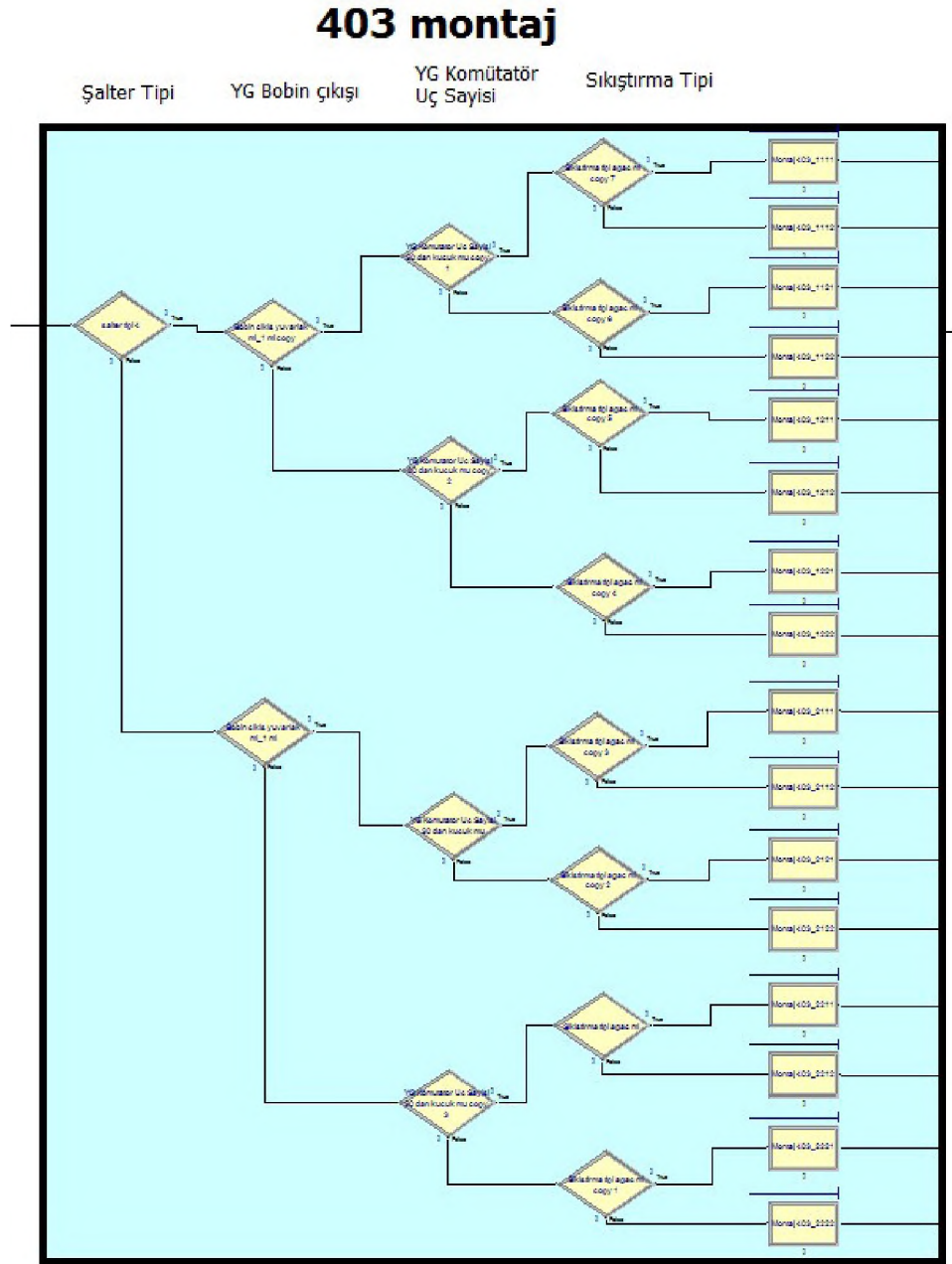
Şekil 4.31: Çekirdek bobin montaj genel arena modeli

Şekil 4.31'de D401, D402 ve D403 montaj işlemlerine ilişkin Arena modelinin genel görünümü verilmiştir. D401 montaj işlem süresi trafonun gücüne ve tek/çift katlı olmasına göre olasılık dağılımlarından simüle edilmektedir. Şekil 4.32'de 401 montaj işlemlerinin simülasyon modeli parçası verilmiştir.



Şekil 4.32: Çekirdek bobin D401

D403 montaj işlemi şalter tipi, bobin çıkışı, komütatör uç sayısı ve sıkıştırma tipine bağlı olarak farklı olasılık dağılımlarından işlem süresi almaktadır. Şekil 4.33'te D403 montaj işlemlerinin simülasyon modeli parçası verilmiştir.

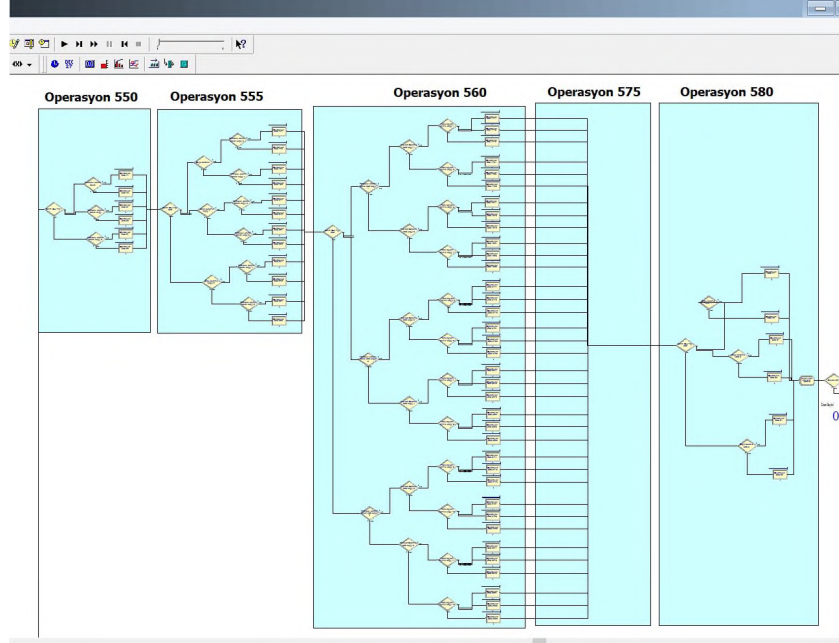


Şekil 4.33: Çekirdek bobin D403

D404 montaj işlemi trafo boyu (KH), bağlantı tipi, izolatör sayısı ve trafo güç seviyesi özelliklerine bağlı olarak farklı olasılık dağılımlarından işlem süresi almaktadır. Şekil 4.34'de D404 montaj işlemlerinin simülasyon modeli parçası verilmiştir.

4.4.4 Son İşlemler Arena Simülasyon Modeli

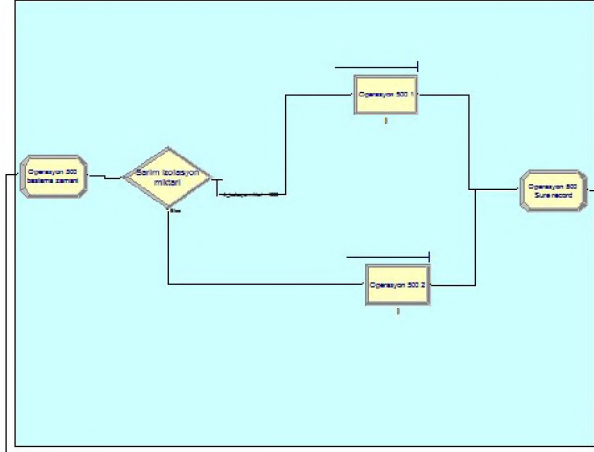
Son işlemler bölümünde D500, D550, D555, D560, D580 no'lu operasyonlar gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.35'de son işlemler operasyonlarına ilişkin Arena simülasyon modelinin genel görünümü yer almaktadır.



Şekil 4.35: Son işlemler arena modeli genel görünüm

Son işlemler D500 operasyon süreci 1000 kg'dan az ve fazla şeklinde kategorize edilmiş trafodaki toplam izolasyon miktarına göre süre almaktadır. Şekil 4.36'da son işlemler D500 operasyonu için oluşturulan simülasyon modeli verilmiştir.

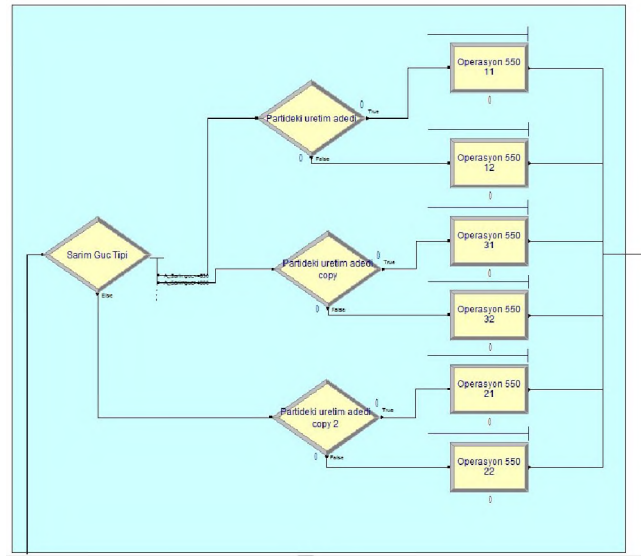
Operasyon 500



Şekil 4.36: Son işlemler arena modeli genel görünüm

Son işlemler D550 operasyon süreci sarım güç tipi ve partideki üretim adedi özelliklerine bağlı olarak farklı dağılımlardan süre almaktadır. Şekil 4.37'de son işlemler operasyon D550 için oluşturulan simülasyon modeli detayı görülmektedir.

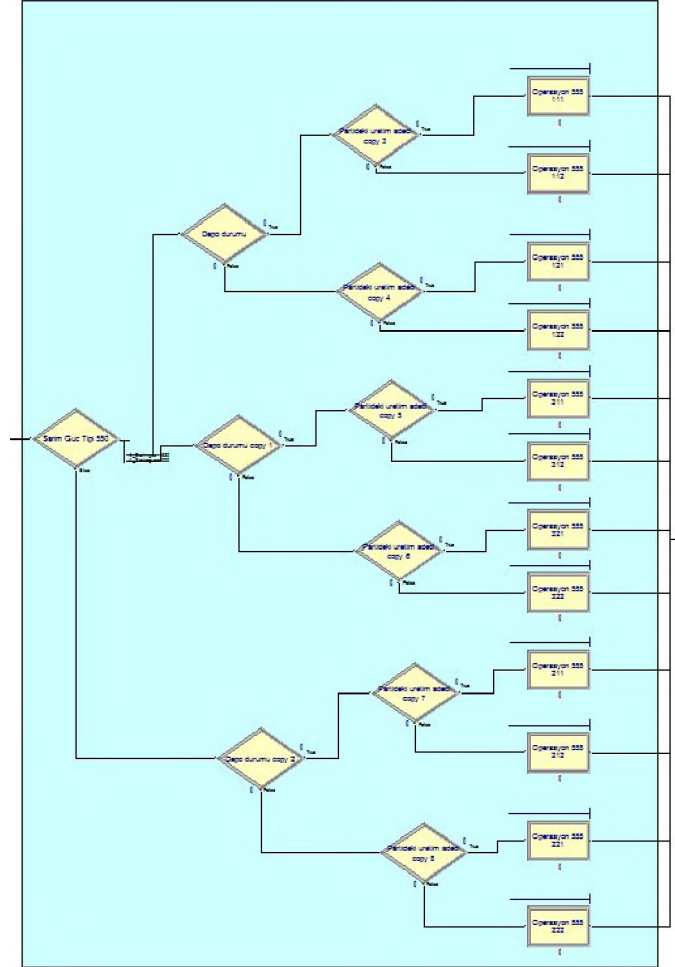
Operasyon 550



Şekil 4.37: Son işlemler D550

Son işlemler D555 operasyon süreci trafonun güç tipi, depo durumu, partideki üretim adedi özelliklerine göre farklı dağılımlardan süre almaktadır. Şekil 4.38'de son işlemler D555 operasyon için oluşturulan simülasyon modeli detayı görülmektedir.

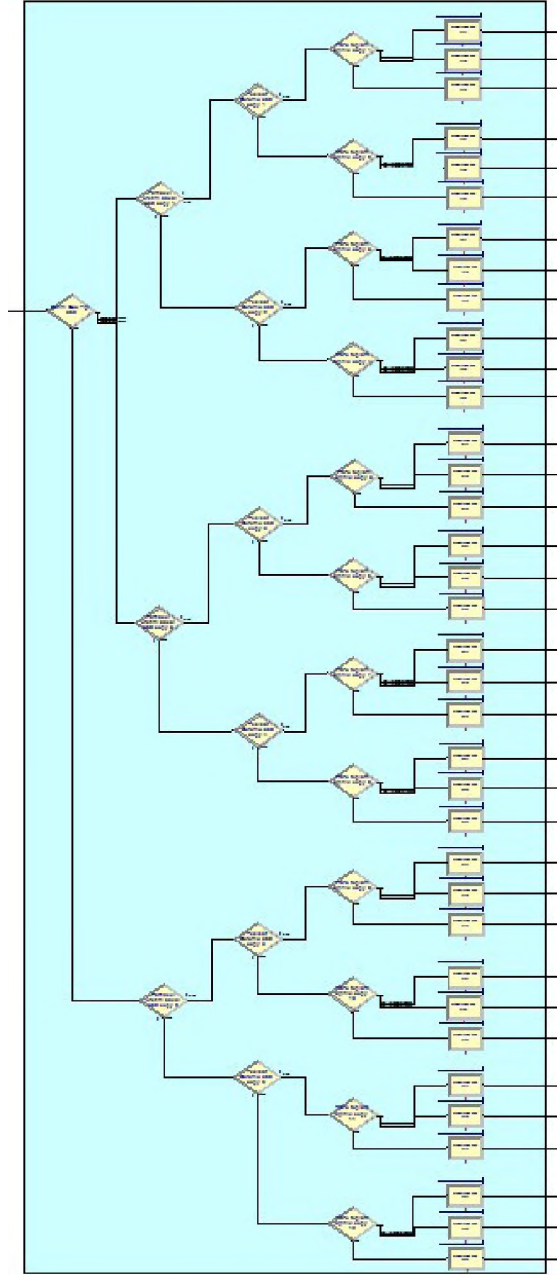
Operasyon 555



Şekil 4.38: Son işlemler D555

Son işlemler D560 operasyon süreci trafonun güç tipi, partideki üretim adedi, tesisat durumu, toplam ağırlık özelliklerine göre farklı dağılımlardan süre almaktadır. Şekil 4.39'da son işlemler D560 operasyon süreci için oluşturulan simülasyon modeli detayı görülmektedir.

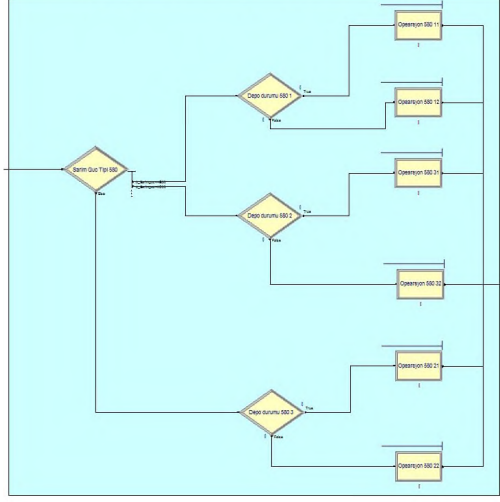
Operasyon 560



Şekil 4.39: Son işlemler D560

Son işlemler D580 operasyon süreci trafonun güç tipi ve depo durumu özelliklerine göre farklı dağılımlardan süre almaktadır. Şekil 4.40'da son işlemler D580 operasyonu için oluşturulan simülasyon modeli detayı görülmektedir

Operasyon 580



Şekil 4.40: Son işlemler D580

Trafonun modele yeni eklenen sarım güç tipi, partideki üretim adedi, depo durumu, tesisat durumu, toplam ağırlık özellikleri simülasyon modelinde kullanılan Excel dosyasına tanımlanmış ve modelde son işlemler simülasyonu için gerekli özellikler bu dosyadan okunmaktadır.

4.5 Arayüz Yazılımı

Bu tez ile Visual Studio tabanlı bir arayüz yazılımı geliştirilmesi planlanmaktadır. Geliştirilecek bu yazılım, müşteri siparişindeki teknik özellikleri kullanıcı arayüzü vasıtasıyla alacak ve arka planda Arena simülasyonunu çalıştırarak siparişe ait işlem süresi, teslim tarihi vb. gerekli diğer istatistikleri hesaplayacaktır. İşlem süresi ve tamamlanma zamanı belirlenmek istenen siparişe ait teknik özellikler ekrandan girildiğinde; program öncelikle paylaşımdaki bir Excel dosyasından sırada bekleyen siparişleri okumakta ve Arena'da simüle etmektedir. Ardından istatistikleri hesaplanacak yeni siparişi simüle ederek dinamik atölye şartlarında yeni siparişe ait işlem süresini ve teslim tarihini belirlemektedir. Yazılım Microsoft Visual Studio 2010, Rockwell Arena Software 14 ve Microsoft Office Excel programları kullanılarak oluşturulmuştur. Yazılımın işleyişi izleyen paragraflarda özetlenmiştir.

Arena 14 simülasyon programı sipariş verilerini Microsoft Excel çalışma kitabından okuyabilmektedir. Oluşturulan yazılım hem Microsoft Excel çalışma kitabına hem de Arena 14 simülasyon programına komutlar göndererek işleyişin devamlılığını sağlamaktadır. Oluşturulan yazılım aracılığıyla Excel çalışma kitabı içerisinde düzenlemeler (ad tanımlama, veri aktarma, veri kaydetme vb.) yapılmakta, gerekli düzenlemelerin ardından Arena 14 programına komut gönderilerek simülasyonu arka planda çalıştırılmaktadır. Arena 14 çalışma döngüsünü tamamladıktan sonra replikasyon sonuçlarını farklı bir Excel çalışma kitabına yazdırmaktadır. Bundan sonraki aşamada tekrar devreye giren Visual Studio yazılımı replikasyon sonuçlarını alıp Microsoft Excel çalışma kitabı üzerinde işleyerek histogram parametrelerini oluşturmakta; grafikleri ve istatistiksel hesaplamaları kullanarak kullanıcıya açık ve net anlaşılabilen sonuçlar sunmaktadır (alınan bir siparişin tamamlanma zamanı için güven aralığı vermektedir). Görsel olarak sonuçları daha iyi değerlendirebilmek için her bir replikasyon sonucunda elde edilen sipariş tamamlanma süreleri sınıflandırılmış, sınıflı seri haline dönüştürülerek histogramı çizilmiştir. Verileri sınıflandırılmış seri haline getirmek için k ile gösterilen sınıf sayısı denklem (16) de verilen “Sturges” kuralına göre belirlenmiştir (Rosetti 2010):

$$k=1+3,322\log(n) \quad (4.1)$$

Sturges kuralına göre belirlenen k , denklem (2)'de kullanılarak sınıf aralıkları (S) belirlenmiş ve histogram çizdirilmiştir:

$$S = \frac{en \text{ büyük süre} - en \text{ küçük süre}}{k} \quad (4.2)$$

Simulasyonun replikasyon sayısı, Manuel Rosetti'nin “Simulation with Arena” kitabında verilen yarı güven genişliği oranı metotuna göre yaklaşık olarak belirlenmiştir. Bu yöntemle göre h yarı güven genişliğini, α anlam düzeyini, n replikasyon sayısını ve s , n replikasyondaki (örnekleme) replikasyonlar arası

standart sapmayı göstermek üzere; $h = t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$ yarı güven genişliği formülünde $t_{\alpha/2, n-1}$ 'in, pilot simülasyon sonucu elde edilen $t_{\alpha/2, n_0-1}$ ve s^2 'nin pilot simülasyon sonucu elde edilen s_0^2 'e eşit olduğu varsayımıyla denklem (3)'e göre simülasyonun replikasyon sayısı belirlenmiştir (Rosetti 2010):

$$n \cong n_0 \frac{h_0^2}{h^2} \quad (4.3)$$

EK D.1 programın Çekirdek Fabrikası ile ilgili program parçasına ait ekran görüntülerini içermektedir.

4.6 Yazılımın Doğrulanması

Simülasyon modelinin ürettiği çıktıların doğrulanması için matematiksel modelleme ve olasılık dağılımı hesaplama aşamasında kullanılmayan ve bu aşamaların tamamlanmasını takip eden ayda gözlenen sipariş listesi için çekirdek, sarım, montaj ve son işlemler operasyonlarının gerçekleşme süreleri ile siparişlerin sistemdeki akış süreleri gözlenmiş ve simülasyondan üretilen çıktılarla kıyaslanmıştır. Bu sipariş listesinde 13 farklı sipariş grubunda 40 trafo yer almaktadır. Verilen sırayla tüm işler simüle edilmiş ve her bir grubun işlem ve akış süreleri, gerçekleşen sürelerle kıyaslanmıştır. Bu bölümde verilen tüm süreler **dakika** birimindedir.

Çekirdek fabrikası dilme, kesme, dizim ve marangoz operasyonlarının gerçekleşen işlem süreleri ve simülasyon çıktısından elde edilen %95'lik güven aralıkları Tablo 4.5'te verilmiştir. Süre tahminleri nokta tahmini şeklinde değil güven aralığı şeklindedir. Olasılık dağılımlarının kullanıldığı simülasyon tabanlı bu yöntemde nokta tahmininden ziyade dar bir güven aralığı ile süre tahmini daha anlamlıdır. Eğer gözlenen süreler bu aralık içine düşüyorsa bu durumda tahmin performansının iyi olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tablo 4.5: Çekirdek fabrikası için gerçekleşen süreler ve %95 güven aralıkları

| Sipariş Kodu | Grup frekans | Gerçekleşen Sac Dilme Süresi | Ort. Sac Dilme % 95 GA | Gerçekleşen Sac Kesme Süresi | Ort. Sac Kesme % 95 GA | Gerçekleşen Çekirdek Marangoz | Ort. Çekirdek Marangoz % 95 GA | Gerçekleşen Düzim Süresi | Ort. Düzim % 95 GA |
|--------------|--------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------|
| S1 | 10 | 886 | 774-887 | 1365 | 1360-1366 | 582 | 527-578 | 8889 | 8881.5-9498.4 |
| S2 | 2 | 202 | 194-213 | 316 | 311-315 | 97 | 92-123 | 576 | 488.54-578.52 |
| S3 | 4 | 573 | 500-576 | 651 | 650-654 | 241 | 205-242 | 3712 | 3418.9-3781.1 |
| S4 | 1 | 87 | 82-94 | 253 | 251-254 | 57 | 42-60 | 608 | 596-732 |
| S5 | 1 | 83 | 80-92 | 261 | 260-264 | 54 | 44-61 | 993 | 926-1124 |
| S6 | 4 | 211 | 208-226 | 403 | 401-405 | 110 | 94-112 | 1756 | 1665-1859 |
| S7 | 2 | 215 | 198-216 | 392 | 389-395 | 108 | 95-115 | 1681 | 1503-1687 |
| S8 | 8 | 807 | 784-856 | 454 | 436-456 | 285 | 234-304 | 4412 | 3520-4441 |
| S9 | 4 | 1026 | 1030-1170 | 628 | 625-632 | 261 | 197-238 | 1844 | 1712-1912 |
| S10 | 1 | 278 | 275-295 | 327 | 327-330 | 61 | 47-67 | 531 | 447-538 |
| S11 | 1 | 156 | 142-160 | 305 | 303-308 | 59 | 55-73 | 394 | 323-411 |
| S12 | 1 | 271 | 267-288 | 338 | 334-339 | 48 | 45-61 | 485 | 412-490 |
| S13 | 1 | 146 | 128-148 | 265 | 263-265 | 60 | 42-61 | 857 | 769-954 |

Tablo 4.5'ten görüldüğü üzere simülasyondan üretilen ortalama işlem sürelerinin % 95'lik güven aralıkları gerçekleşen süreleri kapsamaktadır. Özellikle sac kesim süresinin hesaplanan güven aralığı oldukça dardır, bunun nedeni ise sac kesim işleminin bileşenlerinin büyük bölümünün oluşturulan matematiksel modelden elde edilmesidir. Sac kesim süresinin rassal bileşenini hazırlık, program girme vb. süreler oluşturmaktadır. Tablo 4.6'da sarım işlemlerine ilişkin gerçekleşen süreler ve simülasyondan hesaplanan %95 güven aralıkları verilmiştir.

Tablo 4.6: Sarım atölyesi için gerçekleşen süreler ve %95 güven aralıkları

| Sipariş Kodu | Grup frekans | Gerçekleşen Sarım Süresi | Ortalama Sarım Süresi % 95 GA | Gerçekleşen Sarım Marangoz Süresi | Ortalama Sarım Marangoz %95 GA |
|--------------|--------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| S1 | 10 | 23087 | 23022-23027 | 340 | 345-358 |
| S2 | 2 | 2292 | 2279-2281 | 71 | 70-74 |
| S3 | 4 | 8503 | 8418-8423 | 137 | 134-144 |
| S4 | 1 | 1902 | 1851-1853 | 41 | 34-39 |
| S5 | 1 | 2085 | 2058-2060 | 33 | 32-36 |
| S6 | 4 | 5965 | 5924-5927 | 71 | 70-74 |
| S7 | 2 | 6385 | 6351-6355 | 72 | 67-72 |
| S8 | 8 | 21790 | 21891-21895 | 280 | 273-286 |
| S9 | 4 | 15902 | 15650-15654 | 151 | 136-147 |
| S10 | 1 | 3612 | 3611-3613 | 36 | 34-38 |
| S11 | 1 | 2885 | 2977-2979 | 31 | 33-40 |
| S12 | 1 | 3265 | 3259-3262 | 38 | 35-39 |
| S13 | 1 | 2380 | 2379-2382 | 36 | 33-37 |

Tablodan görüleceği üzere ortalama sarım süresi için hesaplanan güven aralıkları oldukça dardır. Sac kesim işleminde olduğu gibi, sarım süresi üretiminde de matematiksel modeller kullanılmıştır. Sarım süresinin rassal bileşeni yine hazırlık vb. işlemlerdir. Hesaplanan güven aralıklarının çoğu gerçekleşen sürelerle yaklaşmaktadır. Tablo 4.7’de siparişlerin gerçekleşen montaj işlem süreleri ve simulasyondan hesaplanan %95 güven aralıkları yer almaktadır.

Tablo 4.7: Montaj atölyesi için gerçekleşen süreler ve %95 güven aralıkları

| Sipariş Kodu | Grup frekans | Gerçekleşen Montaj 401 Süresi | Ortalama Montaj 401 % 95 GA | Gerçekleşen Montaj 403 Süresi | Ortalama Montaj 403 %95 GA | Gerçekleşen Montaj 404 Süresi | Ortalama Montaj 404 % 95 GA | Gerçekleşen Montaj Marangoz Süresi | Ortalama Montaj Marangoz Süresi |
|--------------|--------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| S1 | 10 | 4602 | 4272-4427 | 4051 | 3919-4024 | 1102 | 1131-1222 | 451 | 402-413 |
| S2 | 2 | 121 | 120-126 | 1298 | 1200-1317 | 245 | 208-252 | 111 | 105-113 |
| S3 | 4 | 1605 | 1627-1759 | 4216 | 4073-4393 | 459 | 411-461 | 215 | 183-191 |
| S4 | 1 | 412 | 400-450 | 402 | 384-418 | 111 | 100-123 | 76 | 69-75 |
| S5 | 1 | 441 | 417-466 | 411 | 387-424 | 116 | 97-124 | 73 | 72-78 |
| S6 | 4 | 851 | 792-833 | 819 | 784-811 | 202 | 225-258 | 112 | 109-114 |
| S7 | 2 | 829 | 819-897 | 778 | 768-813 | 259 | 211-245 | 121 | 110-114 |
| S8 | 8 | 3605 | 3284-3438 | 3296 | 3070-3169 | 998 | 890-971 | 341 | 327-338 |
| S9 | 4 | 1705 | 1648-1780 | 1735 | 1699-1720 | 499 | 449-513 | 186 | 184-192 |
| S10 | 1 | 115 | 100-112 | 420 | 424-436 | 121 | 103-130 | 77 | 70-77 |
| S11 | 1 | 129 | 123-134 | 429 | 424-434 | 152 | 146-166 | 81 | 70-77 |
| S12 | 1 | 111 | 99-113 | 432 | 418-429 | 101 | 100-128 | 76 | 70-76 |
| S13 | 1 | 457 | 410-462 | 401 | 387-420 | 120 | 95-119 | 69 | 71-77 |

Montaj süre üretimi için girdi analizlerinden elde edilen olasılık dağılımları kullanılmıştır. Bu nedenle kullanılan yineleme sayısı ile elde edilen güven aralıkları görece olarak daha geniştir. Ancak yine de süre tahmininde bu güven aralıklarının kullanımı işletme toleransları içindedir. Tablo 4.7’de görüldüğü üzere hesaplanan güven aralıklarının çoğu gerçekleşen süreleri kapsamakta yada sınır değerlere yakındır. Tablo 4.8’de son işlemler operasyonlarının gerçekleşen süreleri ve simulasyondan hesaplanan güven aralıkları verilmiştir.

Tablo 4.8: Son işlemler atölyesi için gerçekleşen süreler ve %95 güven aralıkları

| Sipariş Kodu | Grup frekans | Gerçekleşen Son İşlem DS50 Süresi | Ortalama Son İşlem DS00 % 95 GA | Gerçekleşen Son İşlem DS50 Süresi | Ortalama Son İşlem DS50 % 95 GA | Gerçekleşen Son İşlem DS55 Süresi | Ortalama Son İşlem DS55 % 95 GA | Gerçekleşen Son İşlem 560 Süresi | Ortalama Son İşlem 560 % 95 GA | Gerçekleşen Son İşlem 580 Süresi | Ortalama Son İşlem 580 % 95 GA |
|--------------|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| S1 | 10 | 208 | 209-215 | 4656 | 4385-4939 | 2758 | 2577-2830 | 4802 | 4784-5325 | 1226 | 1174-1262 |
| S2 | 2 | 43 | 41-44 | 388 | 340-392 | 351 | 361-401 | 377 | 346-383 | 192 | 152-171 |
| S3 | 4 | 84 | 82-86 | 1112 | 1188-1372 | 1085 | 997-1146 | 1908 | 1684-1902 | 509 | 448-502 |
| S4 | 1 | 20 | 20-22 | 376 | 299-383 | 375 | 350-461 | 262 | 255-310 | 146 | 131-165 |
| S5 | 1 | 19 | 20-22 | 391 | 311-402 | 451 | 364-470 | 511 | 407-529 | 199 | 151-187 |
| S6 | 4 | 43 | 41-44 | 702 | 639-733 | 789 | 773-873 | 953 | 828-943 | 344 | 324-356 |
| S7 | 2 | 40 | 40-43 | 636 | 555-672 | 803 | 746-871 | 975 | 756-905 | 369 | 334-380 |
| S8 | 8 | 175 | 166-172 | 3306 | 2926-3242 | 3369 | 3086-3534 | 3651 | 3448-3917 | 1506 | 1330-1425 |
| S9 | 4 | 91 | 83-87 | 1287 | 1345-1499 | 387 | 348-458 | 1938 | 1653-1894 | 441 | 450-507 |
| S10 | 1 | 19 | 20-22 | 329 | 286-371 | 395 | 361-469 | 355 | 347-458 | 201 | 170-204 |
| S11 | 1 | 21 | 20-22 | 199 | 175-212 | 181 | 178-213 | 189 | 166-193 | 77 | 71-82 |
| S12 | 1 | 23 | 20-22 | 346 | 279-363 | 402 | 359-470 | 1391 | 1269-1463 | 205 | 160-196 |
| S13 | 1 | 18 | 20-22 | 291 | 285-362 | 285 | 210-282 | 485 | 374-487 | 121 | 101-136 |

Simülasyonda son işlem süreleri için, girdi analizi sonucu elde edilen olasılık dağılımları kullanılmıştır. Bu nedenle kullanılan yineleme sayısı ile elde edilen güven aralıkları göreceli olarak geniştir. Tablo 4.8 incelendiğinde simülasyondan hesaplanan güven aralıklarının bir çoğunun gerçekleşen süreleri kapsadığı yada aralık sınır değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Verilen sırayla işlerin atölyeye girmesi durumunda dinamik atölye koşulları altında işlerin simülasyonundan hesaplanan ortalama termin süresi güven aralıkları ve gerçekleşen termin süreleri dakika ve gün olarak Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9: İş gruplarının gerçekleşen termin süreleri ve % 95 güven aralıkları

| Sipariş Kodu | Grup frekans | Gerçekleşen Termin Süresi (dakika) | Ortalama Termin Süresi % 95 GA (dakika) | Gerçekleşen Termin Süresi (gün) | Ortalama Termin Süresi % 95 GA (gün) |
|--------------|--------------|------------------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------------|
| S1 | 10 | 14380 | 14300-14437 | 9,98 | 9.93-10.3 |
| S2 | 2 | 9015 | 8690-8949 | 6,2 | 6.03-6.21 |
| S3 | 4 | 7740 | 7784-7956 | 5,38 | 5.4-5.5 |
| S4 | 1 | 24987 | 24825-24965 | 17,35 | 17.2-17.33 |
| S5 | 1 | 24350 | 24264-24442 | 16,91 | 16.85-16.98 |
| S6 | 4 | 26286 | 25978-26423 | 18,25 | 18.04-18.35 |
| S7 | 2 | 29712 | 29727-29893 | 20,63 | 20.64-20.76 |
| S8 | 8 | 19615 | 19541-19686 | 13,62 | 13.57-13.67 |
| S9 | 4 | 23920 | 23937-24081 | 16,61 | 16.62-16.72 |
| S10 | 1 | 4101 | 4023-4206 | 2,85 | 2.79-2.92 |
| S11 | 1 | 26862 | 26780-26847 | 18,65 | 18.59-18.64 |
| S12 | 1 | 4905 | 4707-4947 | 3,41 | 3.27-3.44 |
| S13 | 1 | 4468 | 4378-4537 | 3,1 | 3.04-3.15 |

Tablo 4.9’da görüldüğü üzere simülasyondan hesaplanan ortalama termin süreleri % 95 güven aralıklarının çoğu gerçekleşen termin sürelerini kapsamaktadır. İşletmeden alınan gerçek bir iş listesinin gerçekleşen süreleri ile simülasyondan hesaplanan süreler kıyaslandığında, oluşturulan simülasyon modelinin işlem süreleri ile termin sürelerinin tahmininde oldukça güvenilir bir biçimde kullanılabileceği görülmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Çalışma Özeti

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde akış zamanı ve/veya termin zamanı tahmini üzerine yayınlanan çalışmalar 3 başlık altında sınıflandırılabilir. Bunlardan birincisi amaç ve kısıt fonksiyonları ile çözüme ulaşmaya çalışan analitik yöntemler, ikincisi yapay zeka tekniklerine dayalı yöntemler ve üçüncüsü ise regresyon ve simülasyon tabanlı yöntemlerdir. Bu tez kapsamında regresyon ve simülasyon tabanlı bir yöntem kullanılmıştır. Yöntemin literatürden farkı ise; akış zamanı ve termin zamanı hesaplarken atölye doluluk oranları, kuyrukta bekleyen iş sayıları, kaynak sayısı vb. iş veya atölye ile ilgili karakteristikleri kullanmak yerine doğrudan sipariş edilen ürünün teknik tasarım parametrelerini girdi olarak kullanmasıdır. Literatürde ürün teknik özelliklerini doğrudan kullanarak tahminleme yapan bir çalışma bulunmamaktadır.

Siparişe göre proje bazlı, atölye tipi üretim süreçleriyle transformatör üretimi gerçekleştiren BEST A.Ş., her ne kadar transformatör gibi tek bir ürün üretiyor gibi de görünse aslında müşteri istek ve ihtiyaçlarına göre değişen çok sayıda farklı teknik özelliğe göre binlerce farklı tipte transformatör üretimi gerçekleştirmektedir. Aynı güç ve gerilim değerine sahip iki transformatörün teknik şartname farklılıklarından dolayı tasarımları tamamen değişmektedir. Bu değişiklikler beraberinde her seferinde farklı mühendislik ve tasarım çalışmalarını zorunlu kılmakta, bu çalışmalarda şartnameye bağlı özel tasarımlar gerektirmektedir. Tasarımlardaki bu farklılıklar sebebi ile hem kullanılan malzemeler, hem de işçilik süreleri standardize edilememektedir.

Transformatör maliyetleri malzeme, işçilik ve genel giderlerden oluşmaktadır. Müşteriye fiyat teklifi verilecek transformatörün malzeme fiyatlarının belirlenmesi yapılan ürün tasarımının ardından ortaya çıkan malzeme listesine göre yapılmakta olup rutin bir satın alma faaliyetidir. Bu faaliyette öngörülen/gerçekleşen malzeme

maliyetleri arasındaki fark yaklaşık $\pm 2\%$ 'dir. Dolayısı ile öngörülen malzeme maliyetlerindeki fark yüksek hassasiyetlerle hesaplanabildiği için kabul edilebilir seviyelerdedir. Diğer önemli maliyet kalemi ise işçilik maliyetidir. Trafo maliyetlerinin yaklaşık olarak $20\% - 25\%$ 'ini işçilik maliyetleri oluşturmaktadır. Dağıtım ve orta güç transformatör satışlarındaki kar marjları yaklaşık $3\% - 8\%$ arasındadır. Mevcut durumda müşteriye fiyat teklifi verirken, işçilik sürelerinin yüksek hassasiyet ve doğrulukta teklif aşamasında tahmin edilebilmesi hem işçilik maliyetlerinin, hem de işçilik zamanlarına göre ürün maliyetlerine dağıtılan genel giderler maliyetlerinin düşük sapma ile hesaplanabilmesi için önemlidir. Çünkü fiyat teklifi üretime başlamadan önce verilmekte ancak gerçek maliyetler üretim tamamlandıktan sonra ortaya çıkmaktadır. Verilen fiyat teklifinin gerçekleşen altında kalması durumunda firma zararına çalışırken, tam tersi durumda siparişi rakiplere kaptırma olasılığı vardır.

Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenen bu SANTEZ projesi ve tez çalışması kapsamında BEST A.Ş.'de dağıtım ve orta güç transformatörleri işçilik maliyetlerinin, elektrik ve mekanik tasarım kriterlerine göre hesaplanabilmesi için simülasyon tabanlı yeni bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım üretime başlamadan önce teklif aşamasında müşterinin istediği teknik özelliklere uygun yapılan tasarımın teknik detaylarını Visual Studio dilinde kodlanmış arayüzü vasıtasıyla almakta, Arena simülasyon programında oluşturulan simülasyon modelinde önce sırada bekleyen siparişleri ve ardından yeni alınan siparişi dinamik atölye koşulları altında simüle etmekte ve kullanıcıya alınacak olan siparişin operasyonlar bazında işçilik zamanlarını, iş akış zamanını, işe başlama zamanını ve işin teslim tarihini belirli bir güven aralığında rapor olarak vermektedir. Simülasyon modelinde, makinelerce yapılan işler gibi standart işler için Minitab istatistiksel paket programı yardımıyla oluşturulan matematiksel modeller kullanılırken; emek yoğun işler içinse Arena Input Analyser Modülü kullanılarak belirlenen olasılık dağılımları kullanılmıştır. İşlerin iş akışlarının çıkarılması ve işlem sürelerinin ölçülmesi gibi faaliyetler Avix İş Etüdü Programı kullanılarak yapılmıştır.

5.2 Elde Edilen Sonuçlar

Literatürde iş akış zamanının tahmininde kullanılan iş ve/veya atölye ile ilgili karakteristikler (atölye doluluk oranı, kuyrukta bekleyen iş sayısı, makine sayısı, rota konfigürasyonu, işlem süreleri vb.) yerine doğrudan müşteri siparişine göre hazırlanan ürün teknik özellikleri girdi olarak alınıp tez kapsamında elde edilen modeller kullanılarak, siparişe göre proje tipi üretim yapan işletmelerde akış zamanını üretime başlamadan teklif aşamasında düşük bir sapma ile tespit etmek mümkündür. Tablo 4-5_ 4-9 'daki sonuçları göstermektedir ki, matematiksel modeller kurulurken kullanılmayan doğrulama verileri için gözlenen süreler, dar sınırlarla belirlenen güven aralıkları arasındadır. Firmanın geçmiş tecrübelerine göre, ihalelerde fiyat teklifinden kaynaklanan kayıp siparişler ilgili trafo grubundaki cironun ortalama %15'i civarındadır. Bunda temel nedenlerden biri zarar etme korkusu ile yüksek fiyat teklifi verilmesi ve kapalı zarf usulü girilen ihalelerde fiyat teklifinin rakiplere göre yüksek kalmasıdır. Maliyet hesabının daha doğru yapılması ile verilen fiyat teklifinin zarar etmeyi de önleyecek şekilde daha düşük verilmesi ve kaybedilen potansiyel siparişlerin bir bölümünün kazanılması mümkün olabilecektir.

5.3 Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

Bu tez kapsamında geliştirilen yazılım kullanıcının sisteme girdiği iş sırasına göre bekleyen işleri simüle etmekte ve ardından işlem süresi tahmin edilecek siparişi sisteme sokarak dinamik atölye koşulları altında bu siparişin işlem sürelerini, işe başlama ve bitiş tarihlerini hesaplamaktadır. Geliştirilmiş olan algoritma ve yazılım optimizasyon yapmamaktadır. Bundan sonraki çalışma bu yazılımın çizelgelemede yapacak şekilde geliştirilmesidir. Çizelgeleme yaparken genetik, arı, karınca kolonisi algoritmaları vb. kullanılarak çevrim zamanlarını minimize ederken atölye kullanım oranlarını maksimize eden iş çizelgeleri elde edebilecek bir yazılım geliştirilecektir.

6. KAYNAKLAR

Akinnuli, B.O., Oluwadare, S.A. and Aderoba, A.A. (2002). A computer-aided system for job-shop flow time and due-date prediction. *Advances in Materials and Systems Technologies III Book Series: Advanced Materials Research*, 367, 639-645.

Alenezi, A., Moses, S.A. and Trafalis, T.B. (2008). Real-time prediction of order flowtimes using support vector regression. *Computers & Operations Research*, 35(11), 3489-3503.

Alpay, S. and Yuzugullu, N. (2009). Dynamic job shop scheduling for missed due date performance. *International Journal of Production Research*, 47(15), 4047-4062.

Arizono, I., Yamamoto, A. and Ohta, H. (1992). Scheduling for minimizing total actual flow time by neural networks. *International Journal of Production Research*, 30, 503–511.

Asadzadeh, S.M., Azadeh, A. and Ziaiefar, A. (2011). A neuro-fuzzy-regression algorithm for improved prediction of manufacturing lead time with machine breakdowns. *Concurrent Engineering-Research And Applications*, 19 (4), 269-281.

Baker, K.R. and Kanet, J.J. (1983). Job shop scheduling with modified due dates. *Journal of Operations Management*, 4 (1), 11–22.

Baker, K.R. (1984). Sequencing rules and due-date assignments in a job shop, *Management Science*, 30 (9), 349–360.

Baker, K.R., Bertrand, J.W.M. (1981a). An investigation of due-date assignment rules with constrained tightness. *Journal of Operations Management*, 1 (3), 109–120.

Baker, K.R. and Bertrand, J.W.M. (1981b). A comparison of due-date selection rules. *AIIE Transactions*, 13 (2), 123–131.

Baykasoglu, A., Gocken, M. and Unutmaz, Z.D. (2008). New approaches to due date assignment in job shops. *European Journal of Operational Research*, 187(1), 31-45,

Baykasoglu, A. and Gocken, M. (2009). Gene expression programming based due date assignment in a simulated job shop. *Expert Systems with Applications*, 36(10), 12143-12150.

Benard, W.L. and Huff, M.A. (2001). Modeling a geographically distributed MEMS fabrication network. *Proceedings Of The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE)*, 4405, 25-32.

Chen, T. and Wang, Y.C. (2013). An Iterative Procedure for Optimizing the Performance of the Fuzzy-Neural Job Cycle Time Estimation Approach in a Wafer Fabrication Factory. *Mathematical Problems in Engineering Article*, 740478.

Chang, F.R. (1997a). A study of factors affecting due date predictability in a simulated dynamic job shop. *Journal of Manufacturing Systems*, 13 (6), 393-400.

Chang, F.R. (1997b). Heuristics for dynamic job shop scheduling with real time updated queueing time estimates. *International journal of Production research*, 35 (3), 651-665.

Chen, W. and Muraki, M. (1997). An action strategy generation framework for on-line scheduling and control system in batch processing with neural networks. *International Journal of Production Research*, 35, 3483–3506.

Cheng, T.C.E. and Jiang, J. (1998). Job shop scheduling for missed due-date performance. *Computers & Industrial Engineering*, 34(2), 297-307.

Eilon, S., Chowdhury, I.G. and Serghioug, S.S. (1975). Experiments with SI rule in job shop scheduling. *Simulation*, 24, 45.

Eilon, S. and Chowdhury, I.G. (1976). Due dates in job shop scheduling. *International Journal of Production Research*, 14 (2), 223–237.

Enns, S.T. (1995). A dynamic forecasting model for job shop flowtime prediction and tardiness control. *International Journal of Production Research*, 33 (5), 1295–1312.

Enns, S.T. (1993). Job-shop flowtime prediction and tardiness control using queuing analysis. *International Journal of Production Research*, 31(9), 2045-2057.

Govind, N. and Roeder, T.M. (2006). Estimating expected completion times with probabilistic job routing. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, 1-5, 1804-1810, *Winter Simulation Conference, Monterey, CA, Dec 03-06*.

Gürsakal, N. (2010). *Betimsel İstatistik*. Dora Yayın Dağıtım: Bursa.

Harlow, J.H. (2012). *Electric Power Transformer Engineering*". 3rd Edn, (CRS Press, Taylor & Francis Group, US),

Harris, C.R. (1997). Modelling the impact of design, tactical, and operational factors on manufacturing system performance. *International Journal of Production Research*, 35 (2), 479-499.

Hill, T. and Remus, W. (1994). Neural network models for intelligent support of managerial decision making. *Decision Support Systems*, 11(5), 449–459.

Hsu, S.Y. and Sha, D.Y. (2004). Due date assignment using artificial neural networks under different shop floor control strategies. *International Journal of Production Research*, 42(9), 1727-1745.

Ivanescu, C.V., Fransoo, J.C. and Bertrand, J.W.M. (2002). Makespan estimation and order acceptance in batch process industries when processing times are uncertain. *OR Spectrum*, 24 (4), 467-495.

Kelton, W.D., Sadowski, R.P. and Zupick, N.B. (2015). *Simulation with Arena*, Mc.Graw Hill.. 6th ed., ISBN: 978-1-259-25436-9, New York.

Kuroda, M. and Shin H. Zinnohara, A. (2002). Robust scheduling in an advanced planning and scheduling environment. *International Journal of Production Research*, 40(15), 3655-3668.

Kuroda, M. and Mihira, H. (2008). Strategic inventory holding to allow the estimation of earlier due dates in make-to-order production. *International Journal of Production Research*, 46(2), 495-508.

Kuroda, M. (2010). Due-date Estimation and production scheduling for customer orders with unfixed specification. *Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing Volume*, 4(3), *Special Issue: SI*, 559-568.

Lawrence, S.R. (1995). Estimating flowtimes and setting due dates in complex production systems. *IIE Transactions*, 27, 657–668.

Lee, Y.H. and Kim, S. (1993). Neural network applications for scheduling jobs on parallel machines. *Computer and Industrial Engineering*, 25, 227–230

Lengyel, A., Hatono, I. and Ueda, K. (2003). Scheduling for on-time completion in job shops using feasibility function. *Computers and Industrial Engineering*, 45, 215–229.

Lengyel, A., Hatono, I. and Ueda, K. (2003). Scheduling for on-time completion in job shops using feasibility function. *Computers & Industrial Engineering*, 45, 215–229.

Li, S., Li, Y. and Liu, Y., et al. (2007). A GA-based NN approach for makespan estimation. *International Conference on Intelligent Computing, Applied Mathematics and Computation*, 185(2), (2005, 2007), 1003-1014.

Li, S.J., Li, Y. and Liu, Y., et al. (2005). Hybrid method of BPN and genetic algorithm for completion time prediction. *4th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Canton, Peoples Republic of China, AUG 18-21*.

Liao, E.J. and Lin, H.T. (1998). A case study in a dual resource constrained job shop. *International Journal of Production Research*, 36(11), 3095–3111.

Moodie, D.R. and Bobrowski, P.M. (1999). Due date demand management: negotiating the trade-off between price and delivery. *International Journal of Production Research*, 37(5), 997-1021.

Patil, R.J. (2008). Using ensemble and metaheuristics learning principles with artificial neural networks to improve due date Prediction performance. *International Journal of Production Research Volume*, 46(21), 6009-6027.

Philipoom, P., Rees, R. and Wiegman, L. (1994). Using neural networks to determine internally-set due-date assignments for shop scheduling. *Decision Sciences*, 25 (5/6), 825–851.

Ragatz, G.L. and Mabert, V.A. (1984). A simulation analysis of due date assignment rules. *Journal of Operations Management*, 5, 27–39.

Raaymakers, W.H.M., Bertrand, J.W.M. and Fransoo, J.C. (2001). Makespan estimation in batch process industries using aggregate resource and job set characteristics. *International Journal of Production Economics*, 70 (2), 145-161.

Raaymakers, W.H.M. and Weijters, A.J.M.M. (2003). Makespan estimation in batch process industries: A comparison between regression analysis and neural networks. *European Journal of Operational Research*, 145, 14–30.

Ross, S.M. *Olasılık ve İstatistiğe Giriş (Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, vol.4, Ankara: Nobel Yayınevi, (2015).

Rosetti, M.D. (2nd ed). (2010). *Simulation Modeling and Arena*. John Wiley&Sons, Inc., New Jersey: Hoboken, NJ.

Sabuncuoglu, I. and Gurgun, B. (1996). A neural network model for scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 93, 288–299.

Sabuncuoglu, I. and Comlekci, A. (2002). Operation-based flowtime estimation in a dynamic job shop. *Omega*, 30, 423–442.

Sha, D.Y., Liu, C.H. (2005). Using data mining for due date assignment in a dynamic job shop environment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(11-12), 1164-1174.

Sha, D.Y., Storch, R.L. and Liu, C.H. (2007). Development of a regression-based method with case-based tuning to solve the due date assignment problem. *International Journal of Production Research*, 45 (1), 65–82.

Smith, C.H., Minor, E.D. and Wen, H.J. (1995). Regression-based due date assignment rules for improved assembly shop performance. *International Journal of Production Research*, 33, 2375–2385.

Statake, T., Katsumi, M. and Nakamura, N. (1994). Neural network approach for minimizing the makespan of the general job-shop. *International Journal of Production Economics*, 33, 67–74.

Udo, G.J. (1994). A simulation study of due date assignment rules in a dynamic job shop. *Journal of Operations Research Society*, 45(12), 1425–1435.

Veral, E.A. and Mohan, R.P. (1999). A two-phased approach to setting due-dates in single machine job shops. *Computers & Industrial Engineering*, 36(1), 201-218.

Veral, E.A. (2001). Computer simulation of due-date setting in multi-machine job shops. *Computers & Industrial Engineering*, 41(1), 77-94.

Vig, M.M. and Dooley, K.J. (1991). Dynamic rules for due-date assignment. *International Journal of Production Research*, 29, 1361–1377.

Vig, M.M. and Dooley, K.J. (1993). Mixing static and dynamic flowtime estimates for due-date assignment. *Journal of Operations Management*, 11, 67–79.

Weeks, J.K. and Fryer, J.S. (1976). A simulation study of operating policies in a hypothetical dual-constrained job shop. *Management Science*, 22, 1362-1371.

Weeks, J.K. and Fryer, J.S. (1977). A methodology for assigning minimum cost due-dates. *Management Science*, 23(8), 872–881.

Weeks, J.K. (1979). A simulation study of predictable due-dates. *Management Science*, 25, 363-373.

Zhu, H.P., Zhan, H.H., Liu, F.M. et al. (2008). Combination of high-level Petri net simulation and neural network ensemble and its application in the prediction of order due date. *Proceedings of Information Technology and Environmental System Sciences (ITESS)*, 4, 413-417.

7. EKLER

EKLER

EK A : LİTERATÜR TARAMASI

Tablo A.1: Literatür Taraması

| Yazar(lar) Yıl | Yöntemin Genel Sınıflaması | Kullanılan Method | İşin Tamamlanma Zamanının Belirlenmesinde Kullanılan Performans Ölçütleri Ve/Veya Ölçülen Çıktılar | Kullanılan Yöntemin Girdi Faktörleri |
|-------------------------------|--|---|---|--|
| Weeks ve Fryer (1976) | Regresyon analizi, Simülasyon | Lineer regresyon, nonlinear regresyon | DD, FT maliyeti, ortalama iş gecikme maliyeti, ortalama erken tamamlama maliyeti | İş ile ilgili özellikler (varış zamanı, işlem zamanı v.b) |
| Weeks ve Fryer (1977) | Regresyon analizi, Simülasyon | Lineer regresyon, nonlinear regresyon | DD, ortalama FT maliyeti, ortalama iş gecikme maliyet, ortalama işi erken bitirme maliyeti, ortalama DD maliyeti, ortalama işgücü transfer maliyeti | K çarpanı |
| Weeks (1979) | Regresyon analizi, Simülasyon | TWK | En iyi tamamlanma zamanı tahmini | Beklenen iş akış zamanı, İş tıkanıklık bilgisi |
| Ragartz ve Mabert (1984) | Regresyon analizi, Simülasyon | Lineer regresyon, nonlinear regresyon, TWK, NOP, TWK-NOP, JIQ, WIQ, WEEK's method, JIS, RMR | DD, MSL, MT gecikmelerin standart sapması, ortalama mutlak kayıp tamamlanma zamanları | Atölye ve iş karakteristikleri |
| Vig ve Dooley (1991) | Regresyon analizi, Simülasyon | OFS, COFS JIQ, TWK+NOP | DD, FT | İş ile ilgili özellikler |
| Vig ve Dooley (1993) | Regresyon analizi, Simülasyon | Statik ve Dinamik akış zamanı modellerinden oluşturulan yeni bir akış zamanı tahmin modeli | DD, FT, MT, kısmi gecikmeli işler (fraction tardy jobs) | İş ile ilgili özellikler |
| Enns (1993) | Regresyon analizi, Simülasyon | Jackson ayrışması kuralı, CONp, DCONp, PPWp, DPPWp | DD, FT | Atölye işyük bilgileri, iş ile ilgili bilgiler (işlerin varışları arasında geçen süre, işlem süreleri vb.) |
| Philipoom ve diğerleri (1994) | Regresyon analizi ve Yapay Zeka Teknikleri | YSA, nonlinear regresyon, | DD, MAD, SDL | İş ve atölye karakteristikleri |

| | | | | |
|---------------------------------|--|---|---|--|
| Enns (1995) | Regresyon analizi, Simülasyon | DFM | DD | Tahmin hatalarının varyansı, hedef teslim performans seviyesinin güvenlik aralığı |
| Lawrence (1995) | Regresyon analizi, Simülasyon | Ramberg-Schmeiser dağılımı | DD, maliyet minimizasyonu, MAL, MSL | Çoklu işmerkezi, çoklu servis, geri beslemeli kuyruklar, makine arızaları |
| Smith ve diğerleri (1995) | Regresyon analizi, Simülasyon | Çizelgeleme metodları | DD, FT | İş karakteristikleri (iş sayısı, operasyon sayısı, işlem süreleri vb.) ve atölye bilgileri |
| Chang (1997a) | Regresyon analizi, Simülasyon, analitik yöntemler | ANOVA, FCFS, SPT, LST, CR, ODD, TWK | DD | Sistemdeki işler, akıştaki işlerin beklediği kuyruklar, sistemdeki işin içeriği ve kuyruktaki işin içeriği, dağıtım kuralı, atölye kullanım oranı |
| Chang (1997b) | Regresyon analizi, Simülasyon, analitik yöntemler | ANOVA, FCFS, SPT, LST, CR, ODD, TWK, FCFSWQE, SPTWQE, LSTWQE, CRWQE, ODDWQE | DD | Sistemdeki işler, akıştaki işlerin beklediği kuyruklar, sistemdeki işin içeriği ve kuyruktaki işin içeriği, İşin kalan toplam işlem süresi, işin kalan toplam operasyon sayısı, sistemdeki toplam iş sayısı, WIQ |
| Harris (1997) | Regresyon analizi, Simülasyon | Yarı faktöriyel tasarım | DD, ortalama FT, ortalama akışın varyansı ve kaynak bekleme | Taahhüt hızı, ara stok kapasitesi, dağıtım kuralı, atölye yükü, rota konfigürasyonu |
| Cheng ve Jiang (1998) | Regresyon analizi, Simülasyon, Analitik yöntemler | tam faktöriyel deney tasarımı, ANOVA, Simülasyon, DTWK, DPPW, TWK, PPW, | DD, MSL, MAL | İşin tamamlanma zamanını belirleme metodu, dağıtım kuralı, atölye kullanımı |
| Moodie ve Bobrowski (1999) | Regresyon analizi, Simülasyon Analitik yöntemler | ANOVA ve korelasyon, TWK, JIQ, CON, OFS | DD, gelir, makine kullanım oranları | Talep, gecikme, getiri, iş çeşitliliği, sorumluluklar, esneklik, tolerans |
| Veral ve Mohan (1999) | Regresyon analizi, Simülasyon | İkinci dereceden regresyon eşitliği | DD, ML, akış süresi standart sapması | Dağıtım kuralı, atölye kullanımı ve tamamlanma zamanı darlığı |
| Raaymaker s ve diğerleri (2001) | Regresyon analizi, Simülasyon | Tam faktöriyel tasarım | DD, | Ortalama kaynak sayısı, ortalama proses adımı sayısı, ortalama çakışma sayısı, işlem sürelerinin standart sapması, iş yükü dengesi |
| Veral (2001) | Regresyon analizi, Simülasyon | RSM | DD, FT | İşlem süreleri, iş istasyonu kullanımları, farklı öncelik kuralları, atölye konfigürasyonları, ve iş karakteristiği |
| Sabuncuoğlu ve Çömlekçi (2002) | Regresyon analizi, Simülasyon, Analitik yöntemler | OFS, COFS, TWK, JIQ, OBE | DD, MT, MAL, SDL, MT, MAL, MSL, mean semi-quadratic lateness, ortalama FT | Makinelardaki iş yükünün dağılımı, atölyedeki iş yükü, İşlem süreleri, işlem süreleri toplamı, |
| Ivanescu ve diğerleri (2002) | Regresyon analizi, Simülasyon | Regresyon analizi, tam faktöriyel tasarım, Erlang dağılımı | DD, FT | İş setindeki iş sayısı, beklenen işlem sürelerinin olasılık dağılım fonksiyonu, operasyon adımlarının ortalama sayısı, ortalama çakışma sayısı, beklenen işlem sürelerinin değişim katsayısının karesi, işyükü dengesi, etkili işlem sürelerinin değişim katsayısının karesi |
| Raaymaker ve Weijters (2003) | Regresyon analizi ve Yapay Zeka Teknikleri | Tam faktöriyel tasarım, ANN | DD | Özdeş makine sayısı, ortalama işlem adım sayısı, ortalama çakışma, işlem sürelerinin standart sapması, iş yükü dengesi |
| Hsu ve Sha (2004) | Regresyon analizi, Simülasyon, Yapay Zeka Teknikleri | Dağıtım kuralları, Regresyon, Yapay sinir ağları, Simülasyon, TWK, JIQ | DD, Gecikme oranı | İş ve atölye karakteristikleri |
| Sha ve Liu (2005) | Regresyon analizi, Simülasyon, Analitik yöntemler | veri madenciliği, karar ağaçları, RTWK, TWK, DTWK | DD, k faktörünü uygun bir değere ayarlama | İşin toplam işlem süresi, işin tamamlanması için gerekli işlem sayısı, iş atölyede işleme alındığında işin rotası üzerinde kuyruksa bekleyen ve işlem gören iş sayıları ile kuyruksa bekleyen tüm işlerin toplam işlem süreleri |

| | | | | |
|--------------------------------|--|---|--|--|
| Govind ve Roeder (2006) | Regresyon analizi, Simülasyon | RSM | DD, servis seviyesi, iş seti gecikmesi, kabul oranı | İlerlenecek adımdan itibaren kalan çevrim zamanının ortalaması ve varyansı |
| Sha ve diğerleri (2007) | Regresyon analizi, Simülasyon | Regresyon analizi, CON, TWK, SLK, RAN | DD, MAL, MSL | Ortalama işlem süresi, hatalar arası ortalama zaman, tamir için ortalama zaman, işlem süreleri |
| Alenezi ve diğerleri (2008) | Regresyon analizi, Simülasyon, Yapay Zeka Teknikleri | Support Vector Regression modeli, BPN | DD, işin akış zamanının gerçek zamanlı tahmini, MAPE, RMSE | Her bir işin her bir makinadaki kuyruk uzunluğu ve işin durumu |
| Baykasoğlu ve diğerleri (2008) | Regresyon analizi, Simülasyon, | ADRES, LDP, DTWK, DPPW, ANOVA | DD, FT, MAPE, MPE, MT | Her bir istasyondaki makine sayısı, her bir işin rotası, rotalara göre işlerin işlem süreleri, siparişlerin istasyonlar arası taşıma süreleri |
| Zhu ve diğerleri (2008) | Regresyon analizi, Simülasyon, Yapay Zeka Teknikleri | Petri-net simülasyonu, Yapay sinir ağları, | DD | farklı üretim kaynakları ve ürün tipleri |
| Alpay ve Yüzüğünlü (2009) | Regresyon analizi, Simülasyon | CR+OSLK, ANOVA, Full factorial design, Simulation | DD, MAL, MSL | Her bir işin işlem süresilerini ve operasyon sayıları, ayrı ayrı her bir iş atölyeye vardığında ve atölyeden ayrıldığında, bu işlerin herbirinin rotalarındaki ve rotaları dışındaki makinelerdeki ve kuyruklardaki toplam iş sayısını ile en son tamamlanan üç işin tahmin edilen ortalama akış zamanları |
| Asadzadeh ve diğerleri (2011) | Regresyon analizi, Yapay Zeka Teknikleri | YSA (öğretmenli öğrenme algoritması), bulanık regresyon ve geleneksel regresyon | DD | İş ve atölye karakteristikleri |
| Akinnuli ve diğerleri (2012) | Regresyon analizi | bilgisayar yazılımı geliştirme | DD | Geçmiş üretim verileri |
| Eilon ve diğerleri (1975) | Analitik Yöntemler | SI | DD, Geciken işlerin minimizasyonu | İş ile ilgili özellikler (varış zamanı, işlem zamanı v.b) |
| Eilon ve Chowdhury (1976) | Analitik Yöntemler | FIFO, SI, SI* | DD, FT, Bekleme zamanları, kayıp tamamlanma zamanları, teorik maliyet fonksiyonları | Beklenen bekleme süreleri, mevcut kuyruk uzunlukları, yükleme oranı |
| Baker ve Bertrand (1981) | Analitik yöntemler | CON, NOPS, SLK, TWKD | DD, MT | İşlem süreleri dağılımı ve parametreleri, kullanım oranları, ortalama iş yükü, |
| Baker ve Kanet (1983) | Analitik yöntemler | MDD | DD, MT, gecikme oranı | İş ile ilgili özellikler (varış zamanı, işlem zamanı v.b) |
| Baker (1984) | Analitik yöntemler | CON, NOPS, SLK, TWKD | DD, MT | İşlem süresi, iş sayısı, rotadaki işler, rotada geçen süre, kuyruktaki işler |
| Udo (1994) | Analitik yöntemler | BASIC, PWF, CDF, TWK, CON | DD | İşyükü bilgisinin birikimli dağılım ve oransal dağılım fonksiyonları, |
| Liao and Lin (1998) | Analitik yöntemler | SOPT, COFS, ANOVA, MOD, LNQ | DD, erken ve geç tamamlanma zamanlarının minimizasyonu (minimize the earliness and tardiness of due dates), MAL, ML, geciken işlerin sayısı | İşle ilgili değişkenler (Her iş için operasyon sayısı, beklenen toplam zaman, beklenen işlem durumu), atölye ile ilgili değişkenler (tamamlanmamış operasyonların sayısı, tamamlanmamış işlerden kaynaklanan iş yükü) |
| Benard ve Huff (2001) | Analitik yöntemler | geniş bir alana ve farklı coğrafi bölgelere dağılmış üretimin çizelgelenmesi | DD | İşlem sıraları, İş ve atölye karakteristikleri |
| Kuroda ve diğerleri (2002) | Analitik yöntemler | Analitik yöntemler, simülasyon modelleri | DD, Beklenmedik şekilde birden bire ortaya çıkan müşteri siparişlerinin en erken teslim zamanı (mevcut üretimi devam eden siparişlerin söz verilen tarihlerde müşterilere teslimi gerçekleştirilirken) | Müşteri sipariş sayısı, tahmin edilen tamamlanma zamanı, müşteri siparişi için işin tamamlanma zamanının tahmin edildiği tarih, tamamlanma süresi |

| | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|--|--|--|
| Lengyel ve diğ erleri (2003) | Analitik yöntemler, Simülasyon | FF, TWK, CON | DD, MAL, MSL | İş ve atölye karakteristikleri |
| Kuroda ve Mihara (2008) | Analitik yöntemler, simülasyon | Otokorelasyonlu zaman serisi modelleri, simülasyon modelleri | DD, müşteri siparişleri rassallıktan uzak ani dalgalanmalı olduğ unda iş in tamamlanma zamanının tahmini, minimum stok, ortalama termin zamanındaki azalma oranını | İş ve atölye karakteristikleri |
| Kuroda (2010) | Analitik yöntemler | Tamamlanma zamanı tahmin yöntemleri | Sipariş edilen ürünün bazı özellikleri sabitlenmediğ inde DD tahmini | Sabitlenmemiş atölye ve iş karakteristikleri, üretim malzeme listesi, rotalar, işlem süreleri |
| Arizono ve diğ erleri (1992) | Yapay Zeka Teknikleri | Gaussian machine model, Hopfield ağı | DD, FT | İş in sırası, iş in işlem süresi, iş sırasında beklerken iş in hazırlık süresi, iş in başlangıç zamanı, gerçekleşen akış zamanı |
| Lee ve Kim (1993) | Yapay Zeka Teknikleri | Yapay sinir ağ ları | DD, Çevrim zamanı | İş ve atölye karakteristikleri |
| Hill ve Remus (1994) | Yapay Zeka Teknikleri | birleşik YSA, BPN | DD, Çevrim zamanı | İş ve atölye karakteristikleri |
| Statake (1994) | Yapay Zeka Teknikleri | Hopfield ağı, Boltzmann machine mechanism | DD, Çevrim zamanı | İş ve atölye karakteristikleri |
| Sabuncuoğ lu ve Gurgun (1996) | Yapay Zeka Teknikleri | Hopfield ağı | DD, ML, Çevrim zamanı | İş ler, iş sıraları, makineler, |
| Chen ve Muraki (1997) | Yapay Zeka Teknikleri | BPN | DD, | İş ve atölye karakteristikleri |
| Li ve diğ erleri (2005, 2007) | Yapay Zeka Teknikleri | BPN ile GA birleşiminden oluşan hibrid yöntem. | DD, iş in çevrim zamanının buna bağ li olarak da tamamlanma zamanının tahmini, MSE | Paralel kaynakların ortalama sayısı, her iş için ortalama işlem adımı sayısı, işlem adımlarındaki ortalama çakışma sayısı, iş yükü dengesi ve üretim süresindeki (çevrim zamanı - makespan) standart sapma |
| Patil (2008) | Yapay Zeka Teknikleri | Yapay sinir ağ ları, GA | DD, | Belirli bir iş için gerekli operasyon sayısı, işlem süreleri toplamı, bu iş in işlem göreceğ i rotada kuyrukta bekleyen iş sayısı, aynı rotada makinalarda beklenen kuyrukta bekleme sayısı ve işlem süresi gibi genel iş ve atölye karakteristikleriyle; iş lere veya atölyeye ait bazı özel karakteristikler (örneğin i. iş in belirli bazı operasyonlarının işlem süreleri) |
| Baykasoğ lu ve Gökç en (2009) | Yapay Zeka Teknikleri | Gen tanımlı programla | DD, MAPE, MPE, MT | Gelen her bir iş için gerekli toplam operasyon sayısı, iş sistemden ayrılana kadar sistemde var olan iş lerin sayısı, bir iş in rotası boyunca gerek duyduğ u operasyonların ortalama işlem süresi, bir iş in rotası boyunca ortalama kuyrukta bekleme süresi |
| Chen ve Wang (2013) | Yapay Zeka Teknikleri | PCA, fuzzy logic, BPN | DD, Çevrim zamanı | İş le ilgili karakteristikler |

EK B Transformatör Üretimindeki Elektriksel ve Mekanik Tasarım Kriterleri

EK B.1 Çekirdek Üretim Prosesi Üzerinde Etkili Tasarım Kriterleri

| Proses No | Proses Adı | Faktör | İşlem Süresine Etkisi | Açıklama |
|-----------|-----------------|-------------------|---|---|
| 1 | Çekirdek Üretim | Güç | Gücün artması çekirdek boyutlarının artmasına neden olmaktadır. Kullanılan sacların enlerinin ve kademe genişliklerinin artmasına ve işçilik süresinin uzamasına da sebep olur. | <p>Bu proses, ham rulo halindeki sacların devirme aparatında devrilip, dilme makinasında üretimde ihtiyaç duyulan kademe genişliklerine dilinmesi ile başlar. Çeşitli enlerde dilinen saçlar stok ambarında bekletilir. Kesme makinasına, kesilecek kademe genişliğinde rulolar halinde takılan silisli saçlar tasarım çıktılarına uygun bir biçimde CNC kontrollü makinelerde kesilir ve otomatik olarak her bir bacak ve boyunduruk makinada dizilir. Bir diğer teknolojiye ise kesilecek saçlar yarı-otomatik makinada kesilir, yeniden düzenlenir ve dizime hazır hale getirilir.</p> <p>Dizim operasyonunda eğer bacak kesme makinasından dizilmiş bir biçimde çıktı ise, özel dizim tezgâhlarında alt boyunduruk ve sıkıştırma düzeni hazırlanarak çekirdek montajı tamamlanır.</p> <p>Dizim operasyonunda eğer bacak kesme makinasından dizilmemiş ise, bu durumda dizim tezgâhı paralellik ayarları yapılarak alt sıkıştırma düzeni tezgâha yerleştirilir. Daha sonra kademeler tek tek dizilerek manyetik devre tamamlanır. Üst sıkıştırma düzeninin yerleştirilmesinden sonra çekirdek montajı tamamlanır.</p> <p>Çekirdek montajı tamamlanan çekirdek nüvesi ve bu çekirdeğe ait üst boyunduruk sacları, aktif kısmın montajında kullanılmak üzere montaj atölyesine gönderilir.</p> |
| | | Saç Cinsi | Kullanılan sac cinsi çekirdek üretim prosesini etkilemektedir. Kullanılan sacların ince olması çapak miktarını artırabilmektedir. Bu yüzden zaman zaman üretim durmaktadır. Aynı yüksekliğe sahip çekirdeklerde daha ince sac kullanılması, laminasyon miktarını artıracığından hem makina hem işçilik süreleri artmaktadır. Özellikle dilme prosesinde bıçak ayarları ince saçlar için daha hassas yapılmakta ve bıçak ayar sürelerini etkileyebilmektedir. Ayrıca, tasarımda kullanılan saç miktarı çalışma manyetik endüksiyon değerini ve dolayısıyla toplam saç ağırlığını belirler. | |
| | | Sıkıştırma Düzeni | Dizayna göre değişiklik gösteren sıkıştırma düzenleri işçiliği etkilemektedir. Kullanılan sıkıştırma cinsi sac kıvrım takozu ise işçilik süresi kısadır. Eğer ahşap takoz kullanılırsa operasyon ayrıntısı ve işçilik süresi artar. | |

EK B.2 Sarım Prosesi Üzerinde Etkili Tasarım Kriterleri

| Proses No | Proses Adı | Faktör | İşlem süresine etkisi | Açıklama |
|----------------|--|----------------|--|---|
| 2 | Sarım | Güç | Transformatör gücü arttıkça çekirdek ve bobin boyutları artacağına sarım süreleri artar. Ayrıca, akım değerleri de güç ve gerilimin bir fonksiyonu olduğundan dolayı sargı iletken ölçüleri ve boyutlarına direkt olarak etki eder. | <p>Bu proseste, çekirdek fabrikasında hazırlanan çekirdek nüvesinin üzerine montajı yapılacak alçak gerilim ve yüksek gerilim bobinleri hazırlanmaktadır.</p> <p>Trafonun dizaynına göre alçak gerilim bobinleri profil veya bant sarım teknikleri kullanılarak, Dyn (tek bobin) ya da Yzn (çift bobin) sargılar elde edilir.</p> <p>Alüminyum veya bakır iletkenlerin tasarım kriterlerinde belirlenen sipir sayısına ulaşana kadar sarım işlemi devam etmektedir.</p> <p>Hazırlanan alçak gerilim bobinleri üzerine ya da izolasyon silindiri üzerine sarım yapılarak, bakır alüminyum profil ya da emaye kaplı iletkenler ile yüksek gerilim bobinleri hazırlanmaktadır.</p> <p>Aktif kısmın bir parçası olan bu bobinler, çekirdekte akan akıyı kullanarak Faraday Gerilim Endükleme Yasası'na göre giriş veya çıkış gerilimlerinin üretilmesinde kullanılır.</p> |
| | | YG | Sipir sayısı ve kat adedi arttıkça sarım süresi artar. Ayar uçlarının adedi ve yapısı da sarım süresini etkilemektedir. | |
| | | AG | AG bobininde sipir sayısı, folyonun kalınlığı ve genişliği sarım süresini etkiler. Eğer AG profil tel ile sarılırsa sarım süresi folyo sarım süresine göre daha uzun sürmektedir. Kullanılan paralel tel sayısı da profil telde işçilik sürelerini doğrudan etkilemektedir. | |
| | | Bağlantı Grubu | <p>Zigzag sarımda her bir bacak üzerinde eşit sarım sayısında iki sargı bulunur. Dolayısıyla, daha fazla spir sarmak gerekmektedir. Ayrıca, her bir sarım için giriş ve çıkış uçları bırakılması gerekmektedir. Bu iki bobin uygun biçimde birbirlerinden izole edilmelidir.</p> <p>Üçgen bağlantı ile yıldız bağlantıyı birbirlerinden ayıran en önemli özellik iletken kesitidir. Folyo bir üçgen sargısında işçilik süresi yıldız bir folyo sargısına göre uzundur.</p> <p>Tüm bağlantı tiplerinde eğer akım değeri müsaade eder ise, örgülü bakır kullanmak dolu bakır kullanmaya göre işlem süresinin daha kısa sürede tamamlanmasını sağlar. Bobin teli profil tel ise işlem süresi emaye tele göre daha uzun sürer.</p> | |
| Sargı İletkeni | Sargı iletkeninin bakır olması alüminyuma göre elektriksel olarak daha düşük kayıp elde edilmesini sağlar. Ancak alüminyum iletkenin işçilik süresi daha yumuşak bir malzeme olması nedeni ile daha kısadır. Çünkü bakır iletkenin sert yapısından dolayı sarım işleminden önce tavllanması gerekebilmektedir. Ayrıca uçların bükülmesi işleminde alüminyum iletkenin işçiliği bakıra göre oldukça kısadır. Aynı tip iletkenler arasında da sertlik dereceleri işçiliği benzer nedenlerden dolayı etkilemektedir. Sertlik artarsa çaplarda şişmeler meydana gelebilmekte ve malzeme zarar görebilmektedir. Alüminyum iletken ucuz olması sebebi ile müşteriler tarafından talep görmektedir. | | | |

| | |
|--------------------|--|
| AG İletken Adedi | İletken sayısı ne kadar fazla ise sarım süresi o kadar uzar. İletken adedi arttıkça sargı dirençlerini eşit hale getirebilmek amacı ile devirme işlemleri yapılmaktadır. Bu işlem neticesinde devirme yapılan bölgeler manuel olarak izolasyon malzemeleri ile güçlendirilir ve işçilik süreleri artar. |
| AG Sargı Tipi | AG sargı tipi folyo veya profil olabilir. Folyo(Bant Sarım) sarım işçilik süresini kısaltmaktadır. |
| Sıkıştırma Düzeni | Bükme saç ile yapılan bobin ve çekirdek sıkıştırma işlemi saplama bulunmaması nedeni ile tercih edilmektedir. Ancak, ahşap sıkıştırma düzeni malzeme maliyetlerinde azalma sağladığından dolayı tercih edilen bir yöntemdir. Ahşap sıkıştırma düzeni işçiliği arttırmaktadır. Ayrıca, aktif kısım kurutma süreleri de artmaktadır. |
| YG Tel Tipi | Emaye veya profil olarak YG teli kullanılabilir. Emaye telin profil tele göre işçilik süresi daha kısadır. |
| Komütatör Tipi | Büyük trafolarda bayrak tipi olursa daha kısa sürede lehimli olursa daha uzun sürede tamamlanır. |
| YG Bağlantı Bakırı | Bakır kalınlaştıkça işçilik zorlaşır ve işlem süresi artar. Ayrıca, örgülü bakır veya şerit lama bakır kullanılması durumunda işçilik süreleri azalmaktadır. |
| YG Kat Sayısı | Her bir kat kendi içerisinde izole olacağından ve kat geçişlerinde sarım makinası yavaşlatılmak zorunda olacağından süre artar. |
| AG Kanal Adedi | Her bir kanal olan bölgede çıtlar ile katlar arası mesafesinin açılması gerekmektedir. Bu durum üretim süresi ve maliyeti arttırmaktadır |
| YG Kanal Adedi | Her bir kanal olan bölgede çıtlar ile katlar arası mesafesinin açılması gerekmektedir. Bu durum üretim süresi ve maliyeti arttırmaktadır |

EK B.3 Montaj Prosesi Üzerinde Etkili Tasarım Kriterleri

| Proses No | Proses Adı | Faktör | İşlem Süresine Etkisi | Açıklama |
|-----------|------------|--------------------|--|---|
| 4 | Montaj | Güç | Gücün artması bobin büyüklüğü, sac uzunluğu ve genişliğini artıracığından işçilik artmaktadır. | Bu proses ile çekirdek fabrikasında üretilen çekirdek nüvesinin üzerine sarım işlemi tamamlanan alçak gerilim ve yüksek gerilim bobinlerinin geçirilmesi, üst boyunduruk dizimi, üst kapak montajı, şalter ve izolatör takılması ve ilgili bağlantıların izolasyonları işlemleri yapılır sonucunda trafonun aktif kısmı tamamlanmış olur. |
| | | Yüksek Gerilim | Gerilimin artması atlama mesafelerini etkileyeceğinden ara bağlantı elemanları ve komütatör mesafeleri etkilenmektedir. Çeşitli bölgelere ek izolasyon veya bariyer uygulamaları yapılması gerekmektedir. Bu durum işçiliği artırmaktadır. | |
| | | Alçak Gerilim | Gerilimin artması atlama mesafelerini etkileyeceğinden ara bağlantı elemanları ve komütatör mesafeleri etkilenmektedir. Çeşitli bölgelere ek izolasyon veya bariyer uygulamaları yapılması gerekmektedir. Bu durum işçiliği artırmaktadır. | |
| | | Bağlantı Grubu | Trafonun dizaynına göre alçak gerilim bobinleri profil veya bant sarım teknikleri kullanılarak, Dyn (tek bobin) ya da Yzn (çift bobin) sargılar elde edilir. Sarımı Yzn (çift bobin) yapılan bobinlerde alt uç kaynatma işlemi yapılmaktadır. İşçiliği artıran bu işlem Dyn (tek bobin) yapılan bobinlerde yapılmaz. | |
| | | Sargı İletkeni | Sargı iletkeninin folyo, emaye veya profil telli olması bağlantının tipini (kaynak, sıkmalı bağlantı, cıvatalı bağlantı) de belirlemektedir. Bu durum işçilik sürelerini direkt etkilemektedir. | |
| | | AG İletken Adedi | Kaynak veya sıkmalı bağlantılarda birden fazla sarım iletkeninin ara bağlantı iletkenine kaynatılması veya sıkılması işçilik süresini artırmaktadır. | |
| | | Sıkıştırma Düzeni | Bükme sac ile yapılan bobin ve çekirdek sıkıştırma işlemi saplama bulunmaması nedeni ile tercih edilmektedir. Ancak, ahşap sıkıştırma düzeni malzeme maliyetlerinde azalma sağladığından dolayı tercih edilen bir yöntemdir. Ahşap sıkıştırma düzeni işçiliği artırmaktadır. Ayrıca, aktif kısım kurutma süreleri de artmaktadır | |
| | | YG Tel Tipi | Kaynak veya sıkmalı bağlantılarda birden fazla sarım iletkeninin ara bağlantı iletkenine kaynatılması veya sıkılması işçilik süresini artırmaktadır. Ayrıca alüminyum veya bakır iletken ara bağlantı işçilik sürelerini doğrudan etkilemektedir. | |
| | | YG Bağlantı Bakırı | Bakır kalınlıklaştıkça işçilik zorlaşır ve işlem süresi artar. Ayrıca, örgülü bakır veya şerit lama bakır kullanılması durumunda işçilik süreleri azalmaktadır. | |

EK B.4 Son İşlemler Prosesi Üzerinde Etkili Tasarım Kriterleri

| Proses No | Proses Adı | Faktör | İşlem Süresine Etkisi | Açıklama |
|-----------|--------------|---------------------------|---|---|
| 5 | Son İşlemler | Kablo Kutusu | Kablo kutusunun boyutları, yekpare olması veya ayrı olması işçilik saatini belirleyen bir etkidir. | <p>Bu proseste yapılan işlemler şunlardır:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fırın listesine göre kuru sıkım alanına kazanlar sıralanır. Aktif kısım fırından çıkarılarak kuru sıkım stok alanına taşınır. Alt – Üst klemplerin yatay ve dikey saplamaları sıkılır. AG ve YG buşing montajı yapılır. Bobinler ve klempler arası takozlar sabitlenerek üst presleme takozu ile alt presleme takozu arası mesafeleri eşitlenir. Emniyet somunları takılarak sabitlenir. Transformatör aktif kısım ile kazan boyu eşitlenir. Hermetik veya yağ genleşme depolu dağıtım transformatörleri standart ve müşteri isteklerine göre aksesuar ile tesisat montajı yapılır. Yurtiçi veya yurtdışı teslimine göre etiketler yapıştırılır. Aktif kısım kazana girmeden önce kalite kontrol tarafından megger izolasyon testi yapılır. Eğer 6300 kVA ve üstü ise uyarma akım testine tâbi tutulur. Kalite kontrol personeli tarafından transformatör kazana indirilmeden önceki son kontrolleri gerçekleştirilir. Aktif kısım kazana indirilir ve kuru sıkım gerçekleştirilir. Yağ basma işlemine geçilir. Yağ basımı tamamlandıktan sonra sızdırmazlık testleri gerçekleştirilir. Ark boynuzu ve klemens(kablo) kutusunun montajı yapılır. Üretimi tamamlanan transformatörün son testleri gerçekleştirilmesi için test laboratuvarına gönderilir. <p>Testleri tamamlanan transformatör müşteriye sevk edilmek üzere stok alanına taşınır</p> |
| | | Sıkıştırma düzeni | Kurutma işlemi sonrası transformatör tekrar tasarım kriterlerine göre sıkılmaktadır. Sıkıştırma düzeni ahşap olan trafoalarda işçilik süresi daha yüksektir. | |
| | | Elektrik Tesisatı | Pano veya klemens kutusu olması hem çekilen tesisatı hem de aksesuar sayısını belirlemektedir. Pano olması işçilik süresini arttırmaktadır. Ayrıca, çekilen kablo adedi ve tipi de işçilik süresini belirleyen etkidir. | |
| | | Genleşme Deposu/ Hermetik | Hermetik transformatörlerde dengeleme ve basınç işlemlerinin yapılabilmesi amacı ile özel ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle işçilik süresi daha uzundur. | |

EK C Matematiksel Modelleme ve Olasılık Dağılımı Belirleme Çalışmaları

EK C.1 Çekirdek Fabrikası D101 Operasyonu Matematiksel Modeli

Tablo C.1: D101 operasyonu girdi verileri

| Gözlem No | x1 | x2 | Y (süre) |
|-----------|--------|--------|----------|
| 1 | 0,0269 | 0,0364 | 2,1 |
| 2 | 0,0865 | 0,0745 | 4,25 |
| 3 | 0,0769 | 0,0564 | 3,25 |
| 4 | 0,1154 | 0,0745 | 4,25 |
| 5 | 0,0346 | 0,0455 | 3,13 |
| 6 | 0,1058 | 0,1109 | 6,37 |
| 7 | 1,0000 | 0,8600 | 50 |
| 8 | 0,0269 | 0,0745 | 4,28 |
| 9 | 0,1346 | 0,1291 | 7,85 |
| 10 | 0,0962 | 0,0945 | 5,72 |
| 11 | 0,1154 | 0,1127 | 6,73 |
| 12 | 0,1635 | 0,1127 | 7,58 |
| 13 | 0,0125 | 0,0364 | 2,22 |
| 14 | 0,0250 | 0,0564 | 3,16 |
| 15 | 0,0212 | 0,0364 | 2,58 |
| 16 | 0,0346 | 0,0564 | 3,05 |
| 17 | 0,0519 | 0,0745 | 4,32 |
| 18 | 0,1712 | 0,2218 | 0,68 |
| 19 | 0,1712 | 1,0000 | 64 |
| 20 | 0,1538 | 0,0582 | 4,33 |
| 21 | 0,2404 | 0,0745 | 5,68 |
| 22 | 0,3365 | 0,0800 | 5,9 |
| 23 | 0,4808 | 0,1055 | 7,53 |
| 24 | 0,7596 | 0,0818 | 11,03 |
| 25 | 0,2380 | 0,8509 | 45 |
| 26 | 0,0175 | 0,0745 | 4 |
| 27 | 0,0138 | 0,0745 | 4,17 |
| 28 | 0,2153 | 0,0618 | 4,5 |
| 29 | 0,2085 | 0,0709 | 5,1 |
| 30 | 0,0793 | 0,0436 | 3,38 |
| 31 | 0,0080 | 0,0455 | 2,58 |

Anova:

| Analysis of Variance for y | | | | | | |
|----------------------------|----|---------|---------|---------|--------|-------|
| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Regression | 2 | 6422,87 | 6422,87 | 3211,43 | 377,95 | 0,000 |
| Linear | 2 | 6422,87 | 6422,87 | 3211,43 | 377,95 | 0,000 |
| Residual Error | 28 | 237,92 | 237,92 | 8,5 | | |
| Total | 30 | 6660,78 | | | | |

Tahmin Edilen Matematiksel model :

$$Y = -0,2185 + 3,6046*x1 + 56,6316*x2$$

Belirleme Katsayısı (R²) :

$$R-Sq = 96,43\% \quad R-Sq(pred) = 93,19\% \quad R-Sq(adj) = 96,17\%$$

Tablo C.2: D101 operasyonu için doğrulama verileri

| Gözlem No | x1 | x2 | y | Fit-Y | e (%) |
|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 32 | 0,2212 | 0,2582 | 14,68 | 15,20 | 3,42 |
| 33 | 0,3558 | 0,0964 | 6,92 | 6,52 | 6,12 |
| 34 | 0,0346 | 0,0364 | 2,12 | 1,97 | 7,85 |
| 35 | 0,0112 | 0,0655 | 3,6 | 3,53 | 2,02 |

EK C.2 Çekirdek Fabrikası D102 Operasyonu Matematiksel Modeli

Tablo C.3: D102 operasyonu girdi verileri

| Gözlem No | x1 | x2 | y | Gözlem No | x1 | x2 | y |
|-----------|-----|--------|-------|-----------|-----|--------|-------|
| 1 | 0.8 | 0.3796 | 10.64 | 26 | 0.8 | 0.3704 | 7.94 |
| 2 | 0.8 | 0.3759 | 9.76 | 27 | 0.4 | 0.3488 | 9.95 |
| 3 | 0.8 | 0.4105 | 16.41 | 28 | 0.7 | 0.3333 | 8.73 |
| 4 | 0.4 | 0.5056 | 10.89 | 29 | 0.4 | 0.3914 | 9.45 |
| 5 | 0.8 | 0.4222 | 14.77 | 30 | 0.4 | 0.6111 | 12.99 |
| 6 | 0.8 | 0.4198 | 15.50 | 31 | 0.4 | 0.3827 | 7.81 |
| 7 | 0.9 | 0.4643 | 16.81 | 32 | 0.8 | 0.4012 | 13.34 |
| 8 | 0.8 | 0.4327 | 15.36 | 33 | 0.8 | 0.3790 | 14.63 |
| 9 | 0.4 | 0.5216 | 14.19 | 34 | 0.7 | 0.3716 | 11.17 |
| 10 | 0.9 | 0.4500 | 19.89 | 35 | 0.4 | 0.4198 | 11.25 |
| 11 | 0.9 | 0.4704 | 18.56 | 36 | 0.4 | 0.4321 | 8.32 |
| 12 | 0.9 | 0.4383 | 15.98 | 37 | 0.8 | 0.4105 | 19.27 |
| 13 | 0.4 | 0.1728 | 7.05 | 38 | 0.9 | 0.5751 | 34.09 |
| 14 | 0.5 | 0.1975 | 4.17 | 39 | 0.9 | 0.5556 | 25.19 |
| 15 | 0.4 | 0.1728 | 5.26 | 40 | 0.9 | 0.6667 | 38.23 |
| 16 | 0.4 | 0.1728 | 4.12 | 41 | 0.9 | 0.6914 | 48.72 |
| 17 | 0.6 | 0.2531 | 8.75 | 42 | 0.4 | 0.4012 | 9.35 |
| 18 | 0.6 | 0.2469 | 8.52 | 43 | 0.6 | 0.2840 | 11.80 |
| 19 | 0.5 | 0.2259 | 5.13 | 44 | 1 | 0.5988 | 34.97 |
| 20 | 0.6 | 0.2346 | 6.63 | 45 | 1 | 1.0000 | 92.08 |
| 21 | 0.5 | 0.2778 | 8.05 | 46 | 0.9 | 0.4784 | 24.41 |
| 22 | 0.6 | 0.2753 | 8.56 | 47 | 0.4 | 0.5185 | 13.01 |
| 23 | 0.6 | 0.2716 | 8.78 | 48 | 0.9 | 0.5741 | 32.21 |
| 24 | 0.7 | 0.3086 | 6.79 | 49 | 0.9 | 0.5494 | 25.08 |
| 25 | 0.7 | 0.3210 | 7.64 | 50 | 0.4 | 0.1932 | 6.52 |
| | | | | | | | |

Anova :

| Analysis of Variance for y | | | | | | |
|----------------------------|----|---------|---------|--------|-------|-------|
| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Regression | 5 | 10133,5 | 10133,5 | 2026,7 | 439 | 0,000 |
| Linear | 2 | 8063,2 | 423,4 | 211,71 | 45,86 | 0,000 |
| Square | 2 | 1857,2 | 129,4 | 64,68 | 14,01 | 0,000 |
| Interaction | 1 | 213,1 | 213,1 | 213,1 | 46,16 | 0,000 |
| Residual Error | 44 | 203,1 | 237,92 | 4,62 | | |
| Lack-of-Fit | 41 | 194,7 | 194,7 | 4,75 | 1,69 | 0,377 |
| Pure Error | 3 | 8,5 | 8,5 | 2,82 | | |
| Total | 49 | 10336,7 | | | | |

Tahmin Edilen Matematiksel model:

$$Y = 7.475 + 20.915*x_1 - 69.325*x_2 - 66.936*x_1*x_1 + 22.914*x_2*x_2 + 176.894*x_1*x_2$$

Belirleme Katsayısı (R²):

$$R\text{-Sq} = 98.03\% \quad R\text{-Sq(pred)} = 97.52\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 97.81\%$$

Tablo C.4: D102 Operasyonu için doğrulama verileri

| Gözlem No | x1 | x2 | y |
|-----------|-----|--------|-------|
| 51 | 0.8 | 0.4012 | 10.14 |
| 52 | 0.8 | 0.3704 | 13.43 |
| 53 | 0.4 | 0.4648 | 14.77 |
| 54 | 0.6 | 0.2593 | 10.89 |
| 55 | 0.9 | 0.4383 | 12.17 |
| 56 | 0.4 | 0.5432 | 10.79 |
| 57 | 0.4 | 0.4506 | 9.77 |
| 58 | 0.9 | 0.4568 | 17.70 |
| 59 | 0.9 | 0.4815 | 21.04 |
| 60 | 0.8 | 0.4438 | 12.27 |
| 61 | 0.6 | 0.2716 | 12.45 |
| 62 | 0.9 | 0.4990 | 17.70 |
| 63 | 0.7 | 0.3519 | 14.81 |
| 64 | 0.9 | 0.5988 | 40.83 |

EK C.3 Çekirdek Fabrikası D351 Operasyonu İçin İşlem Sürelerine İlişkin Olasılık Dağılımları

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of D351 N = 223

Leaf Unit = 1,0

```
43 1 000111222222233444555666666667778888999999
74 2 000012222233344455666677777889
95 3 122223334455677778888
(21) 4 001223333344556677779
107 5 011113335556788889
89 6 0011122234444466788899999
64 7 0111455679
54 8 23334488
46 9 00114669
38 10 001255799
29 11 00223456
21 12 0112788
14 13 0
13 14 1
12 15 112
```

HI 160; 160; 164; 164; 164; 165; 172; 176; 181

Stem-and-leaf of D351marangoz_1 N = 215

Leaf Unit = 1,0

```
43 1 000111222222233444555666666667778888999999
74 2 000012222233344455666677777889
95 3 122223334455677778888
(21) 4 001223333344556677779
99 5 011113335556788889
81 6 0011122234444466788899999
56 7 0111455679
46 8 23334488
38 9 00114669
30 10 001255799
21 11 00223456
13 12 0112788
6 13 0
5 14 1
```

HI 151; 151; 152; 160

Stem-and-leaf of D351marangoz_1_1 N = 211

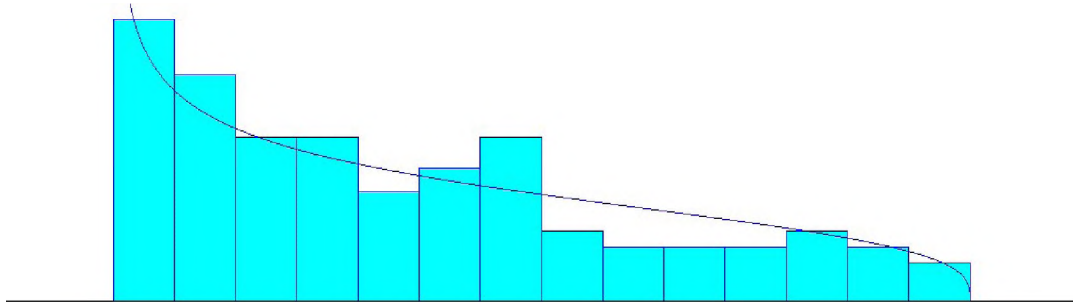
Leaf Unit = 1,0

```
43 1 000111222222233444555666666667778888999999
74 2 000012222233344455666677777889
95 3 122223334455677778888
(21) 4 001223333344556677779
95 5 011113335556788889
77 6 0011122234444466788899999
52 7 0111455679
42 8 23334488
34 9 00114669
```


26 10 001255799
 17 11 00223456
 9 12 0112788
 2 13 0
 HI 141

Stem-and-leaf of D351marangoz_1_1_1 N = 210
 Leaf Unit = 1,0
 43 1 000111222222233444555666666667778888999999
 74 2 00001222223334445566667777788899
 95 3 1222233334455677778888
 (21) 4 001223333344556677779
 94 5 011113335556788889
 76 6 0011122234444466788899999
 51 7 0111455679
 41 8 23334488
 33 9 00114669
 25 10 001255799
 16 11 00223456
 8 12 0112788
 13 0

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|--|
| <p>Distribution Summary Distribution: Beta Expression : $10 + 120 * \text{BETA}(0.751, 1.31)$ Square Error: 0.003516</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 12 Degrees of freedom = 9 Test Statistic = 10.5 Corresponding p-value = 0.322</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.0688 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 210 Min Data Value = 10.2 Max Data Value = 130 Sample Mean = 51 Sample Std Dev = 32.3</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 10 to 130 Number of Intervals = 14</p> |
|--|--|

Şekil C.1: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

EK C.4 Sarım Atölyesi D201 Operasyonu Matematiksel Modeli

Tablo C.5: D201 operasyonu girdi verileri

| Gözlem No | x1 | x2 | x3 | x4 | x6 | x7 | x8 | x9 | Y |
|-----------|----------|----------|----------|----------|------|-----|-----|-----|-------|
| 1 | 0.64 | 0.525253 | 0.428571 | 0.520408 | 0.75 | 0.5 | 0.5 | 1 | 7.75 |
| 2 | 0.541538 | 0.727273 | 0.485714 | 0.72449 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 9.38 |
| 3 | 0.984615 | 0.626263 | 0.257143 | 0.622449 | 0.75 | 1 | 1 | 1 | 10.75 |
| 4 | 0.476923 | 0.333333 | 0.685714 | 0.316327 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 | 6 |
| 5 | 0.507692 | 0.464646 | 0.628571 | 0.459184 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 | 7.5 |
| 6 | 0.578462 | 0.555556 | 0.4 | 0.55102 | 0.75 | 0.5 | 0.5 | 1 | 7.56 |
| 7 | 0.609231 | 0.636364 | 0.371429 | 0.632653 | 0.75 | 0.5 | 0.5 | 1 | 8 |
| 8 | 0.738462 | 0.636364 | 0.314286 | 0.632653 | 0.75 | 0.5 | 1 | 1 | 11 |
| 9 | 0.541538 | 0.727273 | 0.485714 | 0.72449 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 9 |
| 10 | 0.646154 | 0.676768 | 0.571429 | 0.622449 | 0.75 | 0.5 | 0.5 | 1 | 11.75 |
| 11 | 0.538462 | 0.535354 | 0.457143 | 0.530612 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 7 |
| 12 | 0.446154 | 0.333333 | 0.714286 | 0.326531 | 0.25 | 0.5 | 0.5 | 1 | 5.75 |
| 13 | 0.64 | 0.676768 | 0.685714 | 0.673469 | 0.25 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 7.07 |
| 14 | 0.584615 | 0.707071 | 0.714286 | 0.704082 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 8 |
| 15 | 0.676923 | 0.727273 | 0.542857 | 0.72449 | 0.75 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 8 |
| 16 | 0.572308 | 0.505051 | 0.771429 | 0.5 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 4.56 |
| 17 | 0.704615 | 0.59596 | 0.485714 | 0.591837 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 5.36 |
| 18 | 0.64 | 0.676768 | 0.685714 | 0.673469 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 7.5 |
| 19 | 0.907692 | 1 | 0.485714 | 1 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 7.67 |
| 20 | 1 | 0.70303 | 0.428571 | 0.495918 | 1 | 0.5 | 0.5 | 1 | 9.5 |
| 21 | 0.701538 | 0.646465 | 0.514286 | 0.642857 | 0.75 | 0.5 | 0.5 | 1 | 9.2 |
| 22 | 0.476923 | 0.484848 | 0.685714 | 0.479592 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 5.42 |
| 23 | 0.538462 | 0.545455 | 0.542857 | 0.540816 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 5.45 |
| 24 | 0.572308 | 0.565657 | 0.457143 | 0.561224 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 5.57 |
| 25 | 0.603077 | 0.646465 | 0.428571 | 0.642857 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 6.37 |
| 26 | 0.633846 | 0.666667 | 0.371429 | 0.663265 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 6.82 |
| 27 | 0.415385 | 0.494949 | 0.942857 | 0.489796 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 8 |
| 28 | 0.538462 | 0.545455 | 0.542857 | 0.540816 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 6.15 |
| 29 | 0.603077 | 0.646465 | 0.428571 | 0.642857 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 6.5 |
| 30 | 0.633846 | 0.666667 | 0.371429 | 0.663265 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 7 |
| 31 | 0.633846 | 0.666667 | 0.371429 | 0.663265 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 6.1 |
| 32 | 0.633846 | 0.666667 | 0.371429 | 0.663265 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 6.3 |
| 33 | 0.633846 | 0.666667 | 0.371429 | 0.663265 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 6.2 |
| 34 | 0.670769 | 0.757576 | 0.342857 | 0.755102 | 0.75 | 1 | 0.5 | 1 | 11.5 |

ANOVA:

| Analysis of Variance for Y | | | | | | |
|----------------------------|----|---------|-----------|---------|----------|---------|
| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Regression | 26 | 110,790 | 110,79000 | 4,26116 | 30,85000 | 0,00000 |
| Lineer | 8 | 88,928 | 5,27900 | 0,65993 | 4,78000 | 0,02700 |
| Square | 5 | 4,183 | 6,471 | 1,29423 | 9,37000 | 0,00500 |
| Interaction | 13 | 17,679 | 17,679 | 1,35994 | 9,85000 | 0.003 |
| Residual Error | 7 | 0,967 | 0,967 | 0,13811 | | |
| Pure Error | 7 | 0,967 | 0,96700 | 0,13811 | | |
| Total | 33 | 111,757 | | | | |

Tahmin Edilen Matematiksel model:

$$Y = -162.102 + 466.417*x1 - 852.949*x2 + 19.397*x3 + 596.376*x4 - 53.071*x6 + 50.210*x7 + 90.408*x8 + 93.585*x9 - 204.797*x1*x1 + 386.898*x2*x2 + 26.880*x3*x3 - 112.460*x4*x4 + 36.310*x6*x6 + 371.429*x1*x2 - 64.571*x1*x3 - 526.970*x1*x4 + 217.540*x1*x6 + 170.641*x1*x7 - 92.305*x1*x8 - 323.187*x1*x9 + 129.274*x2*x3 - 158.884*x2*x6 - 180.402*x2*x7 + 200.688*x2*x9 - 6.038*x3*x6 - 84.240*x3*x7$$

Belirleme Katsayısı (R²):

$$R\text{-Sq} = 99.13\% \quad R\text{-Sq(pred)} = *% \quad R\text{-Sq(adj)} = 95.92\%$$

Tablo C.6: D201 operasyonu için doğrulama verileri

| Gözlem No | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | Y | Fitted-Y | e |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|-----|-----|----|------|----------|-------|
| 1 | 0.609231 | 0.757576 | 0.4 | 0.755102 | 0.4 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 9.25 | 9.66 | 4.23 |
| 2 | 0.64 | 0.787879 | 0.342857 | 0.77551 | 0.342857 | 0.75 | 1 | 0.5 | 1 | 9.25 | 10.37 | 10.77 |
| 3 | 0.507692 | 0.505051 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 | 9.25 | 8.235 | 12.33 |
| 4 | 0.538462 | 0.545455 | 0.542857 | 0.540816 | 0.542857 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 5.95 | 5.8 | 2.59 |
| 5 | 0.538462 | 0.545455 | 0.542857 | 0.540816 | 0.542857 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 5.25 | 5.8 | 9.48 |
| 6 | 0.538462 | 0.545455 | 0.542857 | 0.540816 | 0.542857 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 5.25 | 5.8 | 9.48 |
| 7 | 0.572308 | 0.565657 | 0.457143 | 0.561224 | 0.457143 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 5.25 | 5.57 | 5.75 |
| 8 | 0.572308 | 0.565657 | 0.457143 | 0.561224 | 0.457143 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 5.25 | 5.57 | 5.75 |
| 9 | 0.538462 | 0.545455 | 0.542857 | 0.540816 | 0.542857 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 5.25 | 5.8 | 9.48 |
| 10 | 0.572308 | 0.565657 | 0.457143 | 0.561224 | 0.457143 | 0.25 | 1 | 0.5 | 1 | 5.25 | 5.57 | 5.75 |
| 11 | 0.476923 | 0.414141 | 0.6 | 0.408163 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 | 6.5 | 5.93 | 9.58 |
| 12 | 0.538462 | 0.484848 | 0.485714 | 0.479592 | 0.485714 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 8.5 | 9.474 | 10.28 |
| 13 | 0.633846 | 0.666667 | 0.371429 | 0.663265 | 0.371429 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 6 | 6.484 | 7.46 |
| 14 | 0.633846 | 0.666667 | 0.371429 | 0.663265 | 0.371429 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 6 | 6.484 | 7.46 |

EK C.5 Sarım Atölyesi D203 Operasyonu Matematiksel Modeli

Tablo C.7: D203 operasyonu girdi verileri

| Gözlem No | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | x10 | Y |
|-----------|----------|----------|----------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-------|
| 1 | 0.725 | 0.709188 | 0.275 | 1 | 0.8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 28.5 |
| 2 | 0.68125 | 0.824264 | 0.525 | 0.666667 | 0.8 | 1 | 0.222222 | 1 | 1 | 0.666667 | 20.5 |
| 3 | 0.820833 | 0.663693 | 0.375 | 0.666667 | 0.6 | 0.5 | 0.055556 | 1 | 1 | 0.166667 | 22.5 |
| 4 | 0.24375 | 0.278323 | 0.195833 | 0.333333 | 0.2 | 0.5 | 0 | 1 | 0.5 | 0 | 9 |
| 5 | 0.3125 | 0.290812 | 0.0875 | 0.333333 | 0.2 | 1 | 0.055556 | 1 | 1 | 0.166667 | 8.5 |
| 6 | 0.695833 | 0.697591 | 0.5 | 0.666667 | 0.6 | 0.5 | 0.055556 | 1 | 1 | 0.166667 | 20 |
| 7 | 0.25 | 0.413916 | 0.175 | 0.333333 | 0.2 | 1 | 0.111111 | 1 | 0.5 | 0.333333 | 11.5 |
| 8 | 0.75 | 0.870651 | 0.475 | 1 | 0.8 | 1 | 0.166667 | 0.5 | 1 | 0.166667 | 28.5 |
| 9 | 0.745833 | 0.810883 | 0.25 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0.666667 | 1 | 1 | 0.666667 | 29.5 |
| 10 | 0.239583 | 0.301517 | 0.179167 | 0.333333 | 0.2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 7.75 |
| 11 | 0.289583 | 0.325602 | 0.120833 | 0.333333 | 0.2 | 1 | 0.111111 | 1 | 1 | 0.333333 | 9.5 |
| 12 | 0.285417 | 0.373773 | 0.220833 | 0.333333 | 0.2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 7 |
| 13 | 0.579167 | 0.711864 | 0.7625 | 1 | 0.6 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 14.5 |
| 14 | 0.845833 | 0.859946 | 0.191667 | 0.666667 | 0.8 | 1 | 0.222222 | 1 | 1 | 0.166667 | 45.5 |
| 15 | 0.75 | 1 | 0.458333 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0.166667 | 0.5 | 1 | 0.166667 | 25 |
| 16 | 1 | 0.838537 | 0.45 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0 | 0.5 | 1 | 0 | 24 |
| 17 | 0.289583 | 0.495986 | 0.158333 | 0.333333 | 0 | 1 | 0.111111 | 1 | 0.5 | 0.333333 | 11.5 |
| 18 | 0.289583 | 0.495986 | 0.158333 | 0.333333 | 0 | 1 | 0.111111 | 1 | 0.5 | 0.333333 | 12.5 |
| 19 | 0.289583 | 0.495986 | 0.158333 | 0.333333 | 0 | 1 | 0.111111 | 1 | 0.5 | 0.333333 | 11 |
| 20 | 0.289583 | 0.495986 | 0.158333 | 0.333333 | 0 | 1 | 0.111111 | 1 | 0.5 | 0.333333 | 11 |
| 21 | 0.289583 | 0.495986 | 0.158333 | 0.333333 | 0 | 1 | 0.111111 | 1 | 0.5 | 0.333333 | 10.5 |
| 22 | 0.289583 | 0.495986 | 0.158333 | 0.333333 | 0 | 1 | 0.111111 | 1 | 0.5 | 0.333333 | 11.5 |
| 23 | 0.289583 | 0.495986 | 0.158333 | 0.333333 | 0 | 1 | 0.111111 | 1 | 0.5 | 0.333333 | 10.75 |
| 24 | 0.933333 | 9.915254 | 0.2875 | 1 | 1 | 1 | 0.222222 | 1 | 1 | 0.166667 | 47 |
| 25 | 0.933333 | 9.915254 | 0.2875 | 1 | 1 | 1 | 0.222222 | 1 | 1 | 0.166667 | 47.5 |
| 26 | 0.245833 | 0.235504 | 0.166667 | 0.333333 | 0.2 | 0.5 | 0.111111 | 1 | 1 | 0.333333 | 8.5 |
| 27 | 0.245833 | 0.235504 | 0.166667 | 0.333333 | 0.2 | 0.5 | 0.111111 | 1 | 1 | 0.333333 | 6.75 |
| 28 | 0.245833 | 0.235504 | 0.166667 | 0.333333 | 0.2 | 0.5 | 0.111111 | 1 | 1 | 0.333333 | 6.75 |
| 29 | 0.245833 | 0.235504 | 0.166667 | 0.333333 | 0.2 | 0.5 | 0.111111 | 1 | 1 | 0.333333 | 6.75 |
| 30 | 0.245833 | 0.235504 | 0.166667 | 0.333333 | 0.2 | 0.5 | 0.111111 | 1 | 1 | 0.333333 | 6.75 |
| 31 | 0.245833 | 0.235504 | 0.166667 | 0.333333 | 0.2 | 0.5 | 0.111111 | 1 | 1 | 0.333333 | 7 |
| 32 | 0.735417 | 0.533452 | 0.458333 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0.055556 | 1 | 1 | 0.166667 | 20 |
| 33 | 0.735417 | 0.533452 | 0.458333 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0.055556 | 1 | 1 | 0.166667 | 18 |
| 34 | 0.735417 | 0.533452 | 0.458333 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0.055556 | 1 | 1 | 0.166667 | 20.5 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|----------|----------|----------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|------|
| 35 | 0.81875 | 0.876896 | 0.375 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0.166667 | 0.5 | 1 | 0.166667 | 30 |
| 36 | 0.81875 | 0.876896 | 0.375 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0.166667 | 0.5 | 1 | 0.166667 | 29 |
| 37 | 0.81875 | 0.876896 | 0.375 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0.166667 | 0.5 | 1 | 0.166667 | 29 |
| 38 | 0.81875 | 0.876896 | 0.375 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0.166667 | 0.5 | 1 | 0.166667 | 30 |
| 39 | 0.81875 | 0.876896 | 0.375 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0.166667 | 0.5 | 1 | 0.166667 | 29 |
| 40 | 0.81875 | 0.876896 | 0.375 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0.166667 | 0.5 | 1 | 0.166667 | 29 |
| 41 | 1 | 0.772525 | 1 | 0.666667 | 0.8 | 0.5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 16.5 |
| 42 | 0.63125 | 0.846566 | 0.666667 | 0.666667 | 0.8 | 1 | 0.055556 | 0.5 | 1 | 0.166667 | 22.5 |
| 43 | 0.295833 | 0.300624 | 0.129167 | 0.333333 | 0.2 | 1 | 0.111111 | 1 | 0.5 | 0.333333 | 10 |
| 44 | 0.289583 | 0.495986 | 0.158333 | 0.333333 | 0 | 1 | 0.111111 | 1 | 0.5 | 0.333333 | 11.5 |
| 45 | 0.245833 | 0.235504 | 0.166667 | 0.333333 | 0.2 | 0.5 | 0.111111 | 1 | 1 | 0.333333 | 6.75 |
| 46 | 0.245833 | 0.235504 | 0.166667 | 0.333333 | 0.2 | 0.5 | 0.111111 | 1 | 1 | 0.333333 | 6.75 |

Anova :

| Analysis of Variance for Y | | | | | | |
|----------------------------|----|---------|---------|---------|-------|---|
| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Regression | 10 | 5376,95 | 5376,95 | 537,695 | 66,11 | 0 |
| Linear | 10 | 5376,95 | 5376,95 | 537,695 | 66,11 | 0 |
| Residual Error | 35 | 284,65 | 284,65 | 8,133 | | |
| Lack-of-Fit | 13 | 274,39 | 274,39 | 21,107 | 45,25 | 0 |
| Pure Error | 22 | 10,26 | 10,26 | 0,467 | | |
| Total | 45 | 5661,61 | | | | |

Tahmin Edilen Matematiksel model:

$$Y = 7.1964 + 24.1637*x1 + 0.9176*x2 - 23.2402*x3 + 4.0388*x4 - 14.5280*x5 + 5.7620*x6 + 6.4255*x7 - 3.3784*x8 - 6.1998*x9 - 5.0603*x10$$

Belirleme Katsayısı (R²):

$$R\text{-Sq} = 94.97\% \quad R\text{-Sq(pred)} = 85.60\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 93.54\%$$

Tablo C.8: D203 operasyonu için doğrulama verileri

| Gözlem No | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | x10 | Y | Fit-Y | e(%) |
|-----------|----------|----------|----------|----------|-----|-----|----------|----|-----|----------|------|--------|-------|
| 1 | 0.289583 | 0.495986 | 0.158333 | 0.333333 | 0 | 1 | 0.111111 | 1 | 0.5 | 0.333333 | 11 | 10.626 | 3.52 |
| 2 | 0.245833 | 0.235504 | 0.166667 | 0.333333 | 0.2 | 0.5 | 0.111111 | 1 | 1 | 0.333333 | 6.75 | 6.061 | 11.37 |
| 3 | 0.333333 | 0.313113 | 0.079167 | 0.333333 | 0.2 | 0.5 | 0.166667 | 1 | 1 | 0.166667 | 10.5 | 11.481 | 8.54 |

EK C.6 Sarım Atölyesi D204 Operasyonu Matematiksel Modeli

Tablo C.9: D204 operasyonu girdi verileri

| Gözlem No | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | Y |
|-----------|--------|--------|--------|--------|------|-----|-----|--------|-------|
| 1 | 0.6806 | 0.5051 | 0.4759 | 0.5714 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7143 | 9 |
| 2 | 0.8866 | 0.5576 | 0.0997 | 0.4762 | 0.75 | 1 | 0.5 | 0.7143 | 22.5 |
| 3 | 0.9769 | 0.6364 | 0.0235 | 0.2857 | 1 | 1 | 0.5 | 0.8571 | 34.5 |
| 4 | 0.7338 | 0.3737 | 0.0694 | 0.3810 | 0.75 | 1 | 0.5 | 0.7143 | 18.75 |
| 5 | 0.9745 | 0.6768 | 0.2467 | 0.4286 | 0.75 | 0.5 | 0.5 | 0.7143 | 16 |
| 6 | 0.8194 | 0.5354 | 0.0652 | 0.4762 | 0.5 | 1 | 1 | 0.7143 | 21.5 |
| 7 | 0.8843 | 0.6768 | 0.1776 | 0.3810 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7143 | 12.75 |
| 8 | 0.6181 | 0.3838 | 0.7101 | 0.9524 | 0.5 | 0.5 | 1 | 1.0000 | 17 |
| 9 | 0.5972 | 0.4848 | 0.0711 | 0.5714 | 0.75 | 1 | 1 | 1.0000 | 30 |
| 10 | 0.8843 | 0.6768 | 0.1776 | 0.3810 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7143 | 13.75 |
| 11 | 0.8171 | 0.6667 | 0.3375 | 0.5714 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.8571 | 19 |
| 12 | 0.9329 | 1.0000 | 0.2202 | 0.7619 | 0.5 | 1 | 1 | 0.7143 | 27.25 |
| 13 | 0.8032 | 0.4667 | 0.0732 | 0.4762 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5714 | 21 |
| 14 | 0.5856 | 0.4848 | 0.5328 | 0.8571 | 0.25 | 1 | 1 | 0.8571 | 10.5 |
| 15 | 0.6713 | 0.5657 | 0.3552 | 0.8095 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 11.95 |
| 16 | 0.7222 | 0.6465 | 0.3330 | 0.6667 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 13.13 |
| 17 | 0.7801 | 0.8283 | 0.2239 | 0.7143 | 0.5 | 1 | 1 | 0.8571 | 29.4 |
| 18 | 0.6181 | 0.6465 | 0.2865 | 0.4762 | 0.25 | 1 | 1 | 1.0000 | 12.5 |
| 19 | 0.4931 | 0.4949 | 0.7327 | 1.0000 | 0.25 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 10.75 |
| 20 | 0.6019 | 0.5455 | 0.4218 | 0.8095 | 0.25 | 1 | 1 | 0.8571 | 9.2 |
| 21 | 0.6713 | 0.5657 | 0.3552 | 0.8095 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 11.4 |
| 22 | 0.6713 | 0.5657 | 0.3552 | 0.8095 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 10.5 |
| 23 | 0.7222 | 0.6465 | 0.3330 | 0.6667 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 13 |
| 24 | 0.7130 | 0.6667 | 0.2887 | 0.6190 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 12.1 |
| 25 | 0.7130 | 0.6667 | 0.2887 | 0.6190 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 12.9 |
| 26 | 0.7130 | 0.6667 | 0.2887 | 0.6190 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 12 |
| 27 | 0.7130 | 0.6667 | 0.2887 | 0.6190 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 12.2 |
| 28 | 0.6019 | 0.5455 | 0.4218 | 0.8095 | 0.25 | 1 | 1 | 0.8571 | 9.1 |
| 29 | 0.6713 | 0.5657 | 0.3552 | 0.8095 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 10.5 |
| 30 | 0.7130 | 0.6667 | 0.2887 | 0.6190 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 12.9 |
| 31 | 0.4792 | 0.5616 | 0.3888 | 0.6667 | 0.25 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 7.6 |
| 32 | 0.5023 | 0.3535 | 0.8085 | 0.8571 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.8571 | 11.25 |
| 33 | 0.4352 | 0.4677 | 0.9325 | 0.9524 | 0.25 | 0.5 | 1 | 1.0000 | 13 |
| 34 | 0.3796 | 0.3414 | 0.3640 | 0.5714 | 0.25 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 9.5 |
| 35 | 0.4653 | 0.3697 | 0.2455 | 0.5238 | 0.25 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 7.75 |
| 36 | 0.4514 | 0.4242 | 0.1495 | 0.3810 | 0.25 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 6.75 |
| 37 | 0.6597 | 0.6667 | 0.7770 | 0.8095 | 0.25 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 12.5 |

| | | | | | | | | | |
|----|--------|--------|--------|--------|------|-----|-----|--------|-------|
| 38 | 0.3935 | 0.2677 | 0.3264 | 0.5714 | 0.25 | 0.5 | 0.5 | 0.8571 | 6.75 |
| 39 | 0.9699 | 0.7879 | 0.0488 | 0.4286 | 0.75 | 1 | 1 | 0.8571 | 28.25 |
| 40 | 0.6019 | 0.5455 | 0.4218 | 0.8095 | 0.25 | 1 | 1 | 0.8571 | 10.1 |
| 41 | 0.7130 | 0.6667 | 0.2887 | 0.6190 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 11.33 |
| 42 | 0.6019 | 0.5455 | 0.4218 | 0.8095 | 0.25 | 1 | 1 | 0.8571 | 9.5 |
| 43 | 0.7130 | 0.6667 | 0.2887 | 0.6190 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 12 |
| 44 | 0.6296 | 0.3333 | 0.1554 | 0.4286 | 0.75 | 0.5 | 0.5 | 0.7143 | 11.5 |
| 45 | 0.6481 | 0.4646 | 0.1426 | 0.3333 | 0.75 | 0.5 | 0.5 | 0.7143 | 7.5 |
| 46 | 0.8218 | 0.7273 | 0.0694 | 0.4762 | 0.5 | 1 | 1 | 0.8571 | 27.75 |
| 47 | 0.8426 | 0.5465 | 0.0692 | 0.4286 | 1 | 1 | 0.5 | 0.8571 | 22.5 |
| 48 | 1.0000 | 0.7273 | 0.1353 | 0.4762 | 0.75 | 1 | 0.5 | 0.7143 | 23.5 |
| 49 | 0.7454 | 0.4687 | 0.2246 | 0.4762 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.8571 | 8.25 |
| 50 | 0.6435 | 0.3333 | 0.5550 | 0.8571 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7143 | 15.5 |
| 51 | 0.6134 | 0.5455 | 0.1232 | 0.4762 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.7143 | 25 |
| 52 | 0.6019 | 0.5455 | 0.4218 | 0.8095 | 0.25 | 1 | 1 | 0.8571 | 9.55 |
| 53 | 0.8079 | 0.7576 | 0.0854 | 0.4286 | 0.75 | 1 | 1 | 0.8571 | 37 |
| 54 | 0.7963 | 0.5475 | 0.1099 | 0.5714 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 19.6 |
| 55 | 0.8287 | 0.6263 | 0.0970 | 0.6190 | 0.5 | 1 | 1 | 0.8571 | 36.1 |
| 56 | 0.6435 | 0.5354 | 0.1747 | 0.6667 | 0.25 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 16.61 |
| 57 | 0.8773 | 0.5556 | 0.0590 | 0.4286 | 0.75 | 1 | 0.5 | 0.8571 | 23.5 |
| 58 | 0.8218 | 0.7273 | 0.0694 | 0.4762 | 0.5 | 1 | 1 | 0.8571 | 20.25 |
| 59 | 0.3750 | 0.3455 | 0.6269 | 0.7619 | 0.25 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 8.63 |

Anova :

| Analysis of Variance for Y | | | | | | |
|----------------------------|----|---------|---------|---------|-------|---|
| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Regression | 14 | 2857,56 | 2857,56 | 204,111 | 13,42 | 0 |
| Linear | 8 | 2380,7 | 912 | 114 | 7,5 | 0 |
| Square | 6 | 476,86 | 476,86 | 79,476 | 5,23 | 0 |
| Residual Error | 44 | 669,2 | 669,2 | 15,209 | | |
| Lack-of-Fit | 28 | 636,6 | 636,6 | 22,736 | 11,16 | 0 |
| Pure Error | 16 | 32,6 | 32,6 | 2,038 | | |
| Total | 58 | 3526,76 | | | | |

Tahmin Edilen Matematiksel model:

$$Y = -7.701 - 32.976*x_1 - 19.276*x_2 - 63.446*x_3 + 45.157*x_4 - 28.158*x_5 + 8.801*x_6 - 2.360*x_7 + 19.112*x_8 + 26.890*x_1*x_1 + 25.560*x_2*x_2 + 56.373*x_3*x_3 - 22.972*x_4*x_4 - 16.398*x_5*x_5 - 1.763*x_6*x_6$$

Belirleme Katsayısı (R^2):

$$R\text{-Sq} = 81.02\% \quad R\text{-Sq(pred)} = 57.24\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 74.99\%$$

Tablo C.10: D204 operasyonu için doğrulama verileri

| Gözlem No | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | Y | Fit-Y | $\epsilon(\%)$ |
|-----------|--------|--------|--------|--------|------|-----|-----|--------|-------|-------|----------------|
| 1 | 0.8981 | 0.7576 | 0.0571 | 0.4762 | 0.75 | 1 | 1 | 0.8571 | 28 | 30.72 | 8.84 |
| 2 | 0.5093 | 0.3293 | 0.2992 | 0.6667 | 0.25 | 0.5 | 1 | 0.8571 | 7.5 | 8.00 | 6.28 |
| 3 | 0.8796 | 0.7071 | 0.1782 | 0.5238 | 0.75 | 1 | 0.5 | 0.7143 | 24.5 | 23.35 | 4.92 |
| 4 | 0.9144 | 0.6364 | 0.2885 | 0.4762 | 0.75 | 0.5 | 0.5 | 0.7143 | 14.63 | 13.26 | 10.33 |
| 5 | 0.6019 | 0.5455 | 0.4218 | 0.8095 | 0.25 | 1 | 1 | 0.8571 | 9.9 | 11.59 | 14.60 |
| 6 | 0.3889 | 0.3152 | 1.0000 | 0.8095 | 0.25 | 0.5 | 0.5 | 0.8571 | 20.5 | 18.75 | 9.31 |

EK C.7 Sarım Atölyesi D206 Operasyonu Matematiksel Modeli

Tablo C.11: D206 operasyonu girdi verileri

| Gözlem No | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | y |
|-----------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-------|
| 1 | 0,6595 | 0,5695 | 0,6410 | 0,6667 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 31,15 |
| 2 | 0,8382 | 0,8235 | 0,3408 | 0,6111 | 0,5 | 0,8 | 0,6 | 36,5 |
| 3 | 0,7450 | 0,7906 | 0,3995 | 0,5556 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 31,52 |
| 45 | 0,6748 | 0,6970 | 0,4459 | 0,5556 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 27 |
| 6 | 0,9817 | 0,9938 | 0,2515 | 0,6667 | 1 | 0,8 | 0,7 | 49 |
| 7 | 0,6977 | 0,6337 | 0,7479 | 0,7778 | 0,5 | 0,6 | 1 | 38,25 |
| 8 | 0,3145 | 0,2995 | 0,0828 | 0,3333 | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 12,5 |
| 9 | 0,7115 | 0,5330 | 0,4083 | 0,6111 | 0,5 | 0,8 | 0,6 | 32,25 |
| 10 | 0,6626 | 0,6613 | 0,5429 | 0,6111 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 28 |
| 11 | 0,4885 | 0,6684 | 0,2015 | 0,3889 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 24,5 |
| 12 | 0,6534 | 0,6702 | 0,6727 | 0,6667 | 0,5 | 0,8 | 0,6 | 31,5 |
| 13 | 0,6153 | 0,7531 | 0,1857 | 0,3889 | 1 | 0,6 | 0,6 | 33,5 |
| 14 | 0,8382 | 0,7674 | 0,5235 | 0,6111 | 0,5 | 0,8 | 0,6 | 32,75 |
| 15 | 0,7832 | 0,6898 | 0,5734 | 0,5556 | 0,5 | 0,8 | 0,6 | 33,5 |
| 16 | 0,5847 | 0,7103 | 0,6798 | 0,6667 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 31,5 |
| 17 | 0,6901 | 0,5865 | 0,4653 | 0,5556 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 26,5 |
| 18 | 0,6611 | 0,8458 | 0,6204 | 0,7222 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 34,5 |
| 19 | 0,8000 | 0,8191 | 0,3901 | 0,7222 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 33,5 |
| 20 | 0,3435 | 0,3690 | 0,4207 | 0,6667 | 0,5 | 0,2 | 0,6 | 29 |

Anova Çıktısı:

| Analysis of Variance for Y | | | | | | |
|----------------------------|----|---------|---------|--------|-------|---|
| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Regression | 7 | 827,188 | 827,188 | 118,17 | 27,96 | 0 |
| Lineer | 7 | 827,188 | 827,188 | 118,17 | 27,96 | 0 |
| Residual Error | 11 | 46,491 | 46,491 | 4,226 | | |
| Total | 18 | 873,679 | | | | |

Tahmin Edilen Matematiksel model:

$$Y = -16,6347 + 0,8808 * x1 + 3,6797 * x2 - 6,1770 * x3 + 37,4454 * x4 + 19,6574 * x5 + 13,1544 * x6 + 10,2910 * x7$$

Belirleme Katsayısı (R²):

$$R\text{-Sq} = 94,68\% \quad R\text{-Sq(pred)} = 80,47\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 91,29\%$$

Tablo C.12: D206 operasyonu için doğrulama verileri

| Gözlem No | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | y | Fit-Y | e (%) |
|-----------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| 1 | 0,7771 | 0,8699 | 0,4418 | 0,6667 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 36 | 34,41 | 4,62 |
| 2 | 0,8061 | 0,8770 | 0,3361 | 0,5556 | 0,5 | 0,8 | 0,5 | 30,33 | 31,53 | 3,80 |
| 3 | 0,8626 | 0,8601 | 0,5353 | 1,0000 | 0,5 | 0,8 | 0,6 | 49 | 47,96 | 2,18 |

EK C.8 Sarım Atölyesi D202 ve D205 Operasyonları İçin İşlem Sürelerine İlişkin Olasılık Dağılımları

Sarım atölyesi D202 ve D205 kodlu operasyonlar eşdeğer operasyonlar olduğundan birlikte analiz edilmişlerdir. Bu kapsamda 33 adet ham gözlem değerinden yararlanılmış ve Minitab ile Kök-Yaprak grafikleri çizilmiştir. Veri setinde atılması gereken uç değerler olmadığı görüldükten sonra bu veriler Arena Input Analyzer modülü ile analiz edilmiştir. Örnekleme ait dakika cinsinden gözlem değerleri ve analiz detayları aşağıda verildiği gibidir. Buna göre işlem süresinin olasılık dağılımı UNIF(24.5, 45.5) olarak bulunmuştur.

Örnekleme Veri Seti:

| |
|---|
| 45 25 30 30 35 45 30 45 40 35 40 30 25 45 45 35 45 40 30 35 25 30 45 30 25 30 25 35 25 45 35 35 30 |
|---|

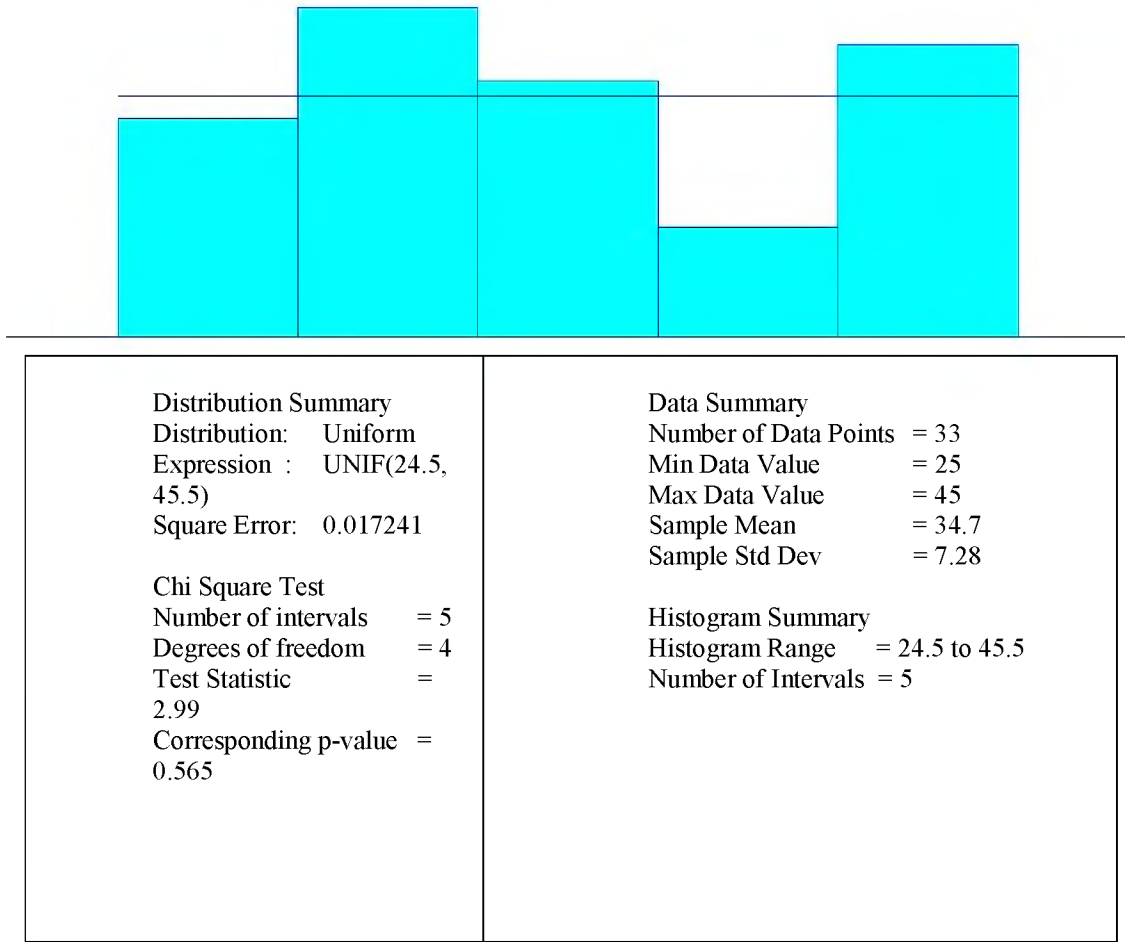
Minitab Analizi

Stem-and-leaf of C1 N = 33

Leaf Unit = 1,0

```
6 2 555555
15 3 00000000
(7) 3 5555555
    11 4 000
    8 4 55555555
```

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi:



Şekil C.2: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

EK C.9 Montaj Atölyesi D401 Operasyonu İçin İşlem Sürelerine İlişkin Olasılık Dağılımları

D401 operasyonunda montajı yapılacak transformatörün güç grubu, hazırlanması gereken malzeme miktar ve boyutlarını farklılaştırmakta ve dolayısıyla hazırlık süresini değiştirmektedir. Standart bir iş olmayan ve %100 emek yoğun bir işlem olan D401 operasyonu için işlem sürelerinin tahmin edilmesinde matematiksel model kullanmak, kontrol edilemeyen çok sayıda faktörün etkisinden dolayı anlamsız olacaktır. Bu nedenle olasılık dağılımlarından yararlanılmıştır. D401 operasyonunun işlem süresi üzerinde en etkili parametre güç değeridir. Olasılık dağılımı hesabında faktörlerin seviyelerine göre bölümlenmeye gidilmiş ve gücün 250 kVA'dan küçük veya büyük olmasına göre iki farklı olasılık dağılımı hesaplanmıştır. Analiz sonuçları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

D401 operasyonu olasılık dağılımı (0-250 KVA) (250 dahil):

0-250 kVA (250 kVA dahil) Transformatörlerin işlem süreleri; folyo sarım veya profil sarım olmasına göre farklılık göstermektedir. Transformatörün aktif kısım adı verilen ve çekirdek ile bobinlerden oluşan kısmında çekirdeğin 3 bacağının her birinin üzerinde en az 1 bobin olmak üzere toplamda en az 3 bobin bulunur. Aşağıda temel formül olarak verilen formül, 3 bobin için işlem süresini veren olasılık dağılımıdır. Transformatörde 6 bobin olursa verilen dağılım 2 ile, 9 bobin olursa 3 ile çarpılacaktır. Bunun yanında, AG sargı tipi folyo sarım olursa (faktör seviyeleri: folyo=1, profil=2 olarak kodlanmıştır), işlem süresi profilde sarıma göre 2 kat artmaktadır. İşlem sürelerini hesaplamak için kullanılan formüller aşağıda verildiği gibidir.

Temel Formül:

2 bobin için süre: $TRIA(21, 31, 41)$

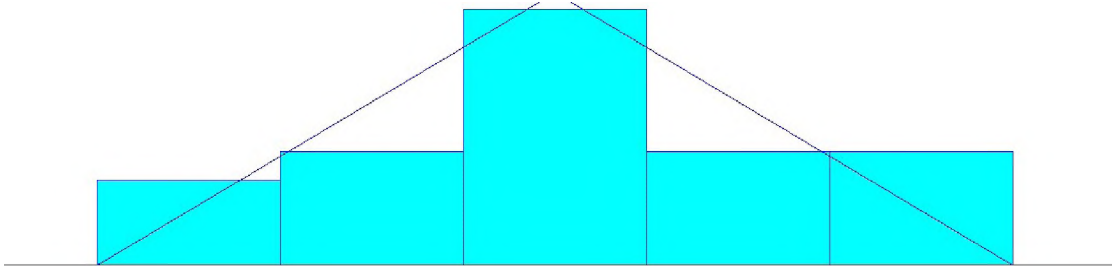
Bu formülden yola çıkarak:

Folyo sarım için: $2*(TRIA(21, 31, 41)*((Bobin\ Sayısı)/3))$

Profil sarım için: $1*(TRIA(21, 31, 41)*((Bobin\ Sayısı)/3))$

3 bobin için süreler:

| | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 26.25 | 27.3 | 29.4 | 33.9 | 30.45 | 33.8 | 25 | 31.26 | 28.5 | 29.7 | 40.8 | 30 |
| 21.3 | 27 | 30 | 22.5 | 33.15 | 40.8 | 40.8 | 30 | 24.3 | 36.2 | 31.98 | 37.2 |
| 30.9 | | | | | | | | | | | |



| | |
|--|---|
| <p>Distribution Summary Distribution: Triangular Expression : $TRIA(21, 31, 41)$ Square Error: 0.020517</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 3 Degrees of freedom = 1 Test Statistic = 0.626 Corresponding p-value = 0.451</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.125 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 24 Min Data Value = 21.3 Max Data Value = 40.8 Sample Mean = 31.1 Sample Std Dev = 5.32</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 21 to 41 Number of Intervals = 5</p> |
|--|---|

Şekil C.3: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

D401 operasyonu olasılık dağılımı (250 -12500 KVA) (12500 dahil):

250-12500 kVA (12500 kVA dahil) transformatörlerin işlem süreleri de 0-250 kVA'da olduğu gibi folyo sarım veya profil sarım işlemi olmasına göre farklılık göstermektedir. Aşağıda temel formül olarak verilen formül, 3 bobin için işlem süresini veren olasılık dağılımıdır. Transformatörde 6 bobin olursa verilen dağılım 2 ile, 9 bobin olursa 3 ile çarpılacaktır.

Temel Formül:

$$73 + \text{GAMM}(15.3, 2.21)$$

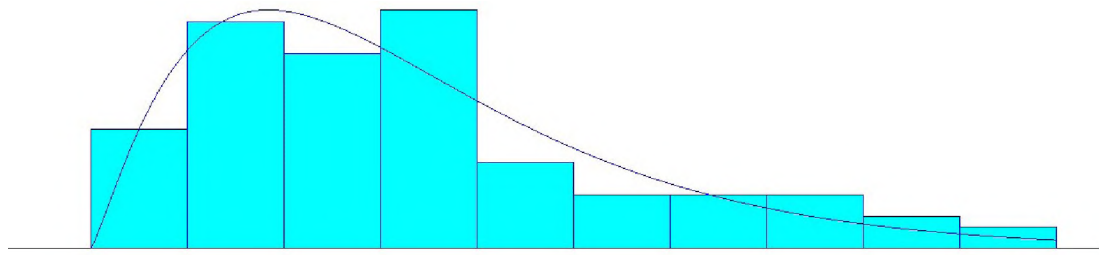
Bu formülden yola çıkarak:

Folyo sarım için: $2*(73 + \text{GAMM}(15.3, 2.21) * ((\text{Bobin Sayısı})/3))$

Profil sarım için: $1*(73 + \text{GAMM}(15.3, 2.21) * ((\text{Bobin Sayısı})/3))$

3 bobin için süreler:

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 108.2 | 113.4 | 115.8 | 96.96 | 84.6 | 107.4 | 160.8 | 107.2 | 150.3 | 104.4 | 133.5 |
| 90 | 95.4 | 126.6 | 98.8 | 85.8 | 124.8 | 94.92 | 114.7 | 84.12 | 109.9 | 82.8 |
| 81.72 | 92.76 | 114 | 106.8 | 110.4 | 90 | 173 | 115.8 | 123.9 | 112.2 | 93.9 |
| 73.92 | 101.7 | 101.4 | 88.06 | 108.2 | 106.8 | 96.6 | 89.7 | 99 | 96.6 | 92.63 |
| 105 | 135.6 | 81.7 | 140.4 | 105 | 79.8 | 123 | 88.8 | 85.32 | 111 | 83.16 |
| 93.6 | 81.6 | 108.6 | 132.6 | 104.8 | 93.9 | 161.2 | 82.8 | 86.7 | 111 | 80.76 |
| 87.36 | 160.8 | 146.6 | 112.8 | 85.32 | 81.12 | 105 | 91.8 | 97.8 | 130.5 | 87.3 |
| 146.7 | 81 | 86.25 | 101.2 | 138.9 | 153 | 111.9 | 117 | 117 | 89.2 | 95.52 |
| 94.32 | 95.76 | 85.8 | 86.4 | 106.24 | 101.2 | 165.6 | 103.8 | 144.9 | 78.6 | 133.8 |
| 111.6 | | | | | | | | | | |



| | |
|---|---|
| <p>Distribution Summary Distribution: Gamma Expression : $73 + \text{GAMM}(15.3, 2.21)$ Square Error: 0.006596</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 6 Degrees of freedom = 3 Test Statistic = 4.14 Corresponding p-value = 0.248</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.0485 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 100 Min Data Value = 73.9 Max Data Value = 173 Sample Mean = 107 Sample Std Dev = 22.5</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 73 to 173 Number of Intervals = 10</p> |
|---|---|

Şekil C.4: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

EK C.10 Montaj Atölyesi D403 Operasyonu için İşlem Sürelerine İlişkin Olasılık Dağılımları

D403 operasyonu üzerinde etkili tasarım kriterlerinden şalter tipi, yüksek gerilim (YG) bobin çıkış tipi, çekirdeğin sıkıştırma tipi ve YG komütatör uç sayısı işlem süreleri üzerinde asıl belirleyici faktörlerdir. Bunların haricinde transformatörün güç, gerilim, aktif kısım boyu (KH), bobin montaj boyu (L), trafodaki kat sayısı, YG izolatör çıkış yeri (yukarıdan vb.), kullanılan izolatör sayısı, kullanılan çita sayısı, saç kalınlığı gibi pek çok tasarım parametresi de işlem sürelerine belirli oranlarda etki etmektedir. Ancak en başta belirtilen 4 faktör işlem süreleri üzerinde anlamlı bir değişime sebep olmaktadır. D403 operasyonu işlem sürelerinin tahmininde olasılık dağılımından yararlanılmıştır. Çünkü %100 emek yoğun bir işlemdir ve matematiksel model yardımıyla elde edilecek nokta tahmini sabit süreler, bu operasyonun işlem süresi tahmininde anlamlı olmamaktadır. Bu operasyon için olasılık dağılımlarından yararlanılmıştır. Olasılık dağılımı hesabında faktörlerin seviyelerine göre bölümlenmeye gidilmiş ve bu amaçla faktöriyel tasarımdan yararlanılmıştır. Aşağıda verilen tabloda faktörler ve seviyeleri görülmektedir:

Tablo C.13: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri

| Faktör | Seviyeler | |
|------------------------|--|--|
| | 1 | 2 |
| Şalter Tipi | Tip 1: KDL, KDR Tip 2: KDF, KDZ Tip 3: yok | Tip 4: Yükte |
| YG Bobin Çıkışı | Yuvarlak | Profil |
| YG Komütatör Uç Sayısı | <30 adet | >=30 adet |
| Sıkıştırma Tipi | Ağaç ile sıkıştırma | U profil yada çelik çember kullanarak sıkıştırma |

Deney tasarımı yapıldığında, her biri iki seviyeli (kodlanmış olarak değerleri: 1 ve 2) 4 faktör için toplam 16 (2^4) farklı kombinasyon ortaya çıkmaktadır. Tablo 1.1'e göre şalter tipi 1. seviye belirlendiğinde (Tip1, Tip2, Tip3) 8 farklı tip kombinasyondan (Tablo 1: 1-8. kombinasyonlar) gözlem almak mümkündür. Ancak bu 8 kombinasyon içerisinde Sıkıştırma tipi U profil yada çelik çember olması durumunda komütatör uç sayısı değişkeni etki etmemektedir. O nedenle 3. ve 4. kombinasyonlar aynı olasılık dağılımına sahip iken; 7. ve 8. Kombinasyonlarda benzer şekilde aynı olasılık dağılımına sahiptir.

Şalter tipi 2. Seviye olduğunda (Tip 4: yükte) sadece YG Bobin çıkış tipinin yuvarlak veya profil olmasına göre işlemler ve buna bağlı işlem süresi önemli değişiklikler göstermektedir ve 2 farklı tip kombinasyon ortaya çıkmaktadır. Bu durumda 3. ve 4. faktörlerin (YG komütatör uç sayısı, sıkıştırma tipi) etkisi olmamaktadır. Bu nedenle 9, 10 ve 11. kombinasyonların olasılık dağılımı değerleri yerine 12. kombinasyonun olasılık dağılımı; 13, 14 ve 15. kombinasyonların olasılık dağılımı değerleri yerine 16. kombinasyonun olasılık dağılımı kullanılmıştır.

Sonuç olarak toplam kombinasyon sayısı 16'dan 8 kombinasyona (1. şalter tipi için 6; 2. şalter tipi için 2 kombinasyon) inmektedir. Aşağıdaki tabloda verilen kombinasyonlara ilişkin olasılık dağılımlarını hesaplayabilmek için ekte verilen ilgili veriler önce Minitab istatistiksel paket programında steam-and-leaf diyagramları kullanılarak analiz edilmiştir. Analizde uç değerler program tarafından otomatik olarak ayıklanmıştır. Buna rağmen istenmeyen veya genel yığılmanın çok dışında kalan veriler manuel olarak ayıklandıktan sonra geriye kalan veriler Arena Input Analyzer modülü kullanılarak analiz edilmiş ve hata karesi en düşük olan en uygun

olasılık dağılımı belirlenmiştir. Kombinasyon 3 ve 7’de verilen tasarımlar deney tasarımında gözükmeyle birlikte gerçekte müşteri tarafından talep edilen ve/veya tasarımı yapılan ürünler arasında yer almamaktadır. Bu nedenle en yakın tasarımlar olan Kombinasyon 4 ve 8’in olasılık dağılımları sırasıyla bu kombinasyonlar içinde kullanılmıştır. Aynı şekilde, tabloda verilen tasarımın Kombinasyon 9-11’de verilen transformatör tipleri üretimde sık rastlanan tipler olmayıp bu transformatörlerin işlem süreleri, en yakın kombinasyon olan kombinasyon 12’nin olasılık dağılımı olarak tanımlanmıştır. Aynı şekilde kombinasyon 13-15’de verilen transformatör tipleri üretimde sık rastlanan tipler olmayıp bu transformatörlerin işlem süreleri, en yakın kombinasyon olan kombinasyon 16’nin olasılık dağılımı olarak tanımlanmıştır. Belirlenen olasılık dağılımları aşağıdaki gibidir:

Tablo C.14: Deneysel tasarım

| Kombinasyon | Şalter Tipi | YG Bobin Çıkış | Sıkıştırma Tipi | YG Komütatör uç sayısı | Olasılık Dağılımı |
|-------------|-------------|----------------|-----------------|------------------------|--|
| 1 | I. grup | I. grup | I. grup | I. grup | TRIA(384, 418, 478) |
| 2 | I. grup | I. grup | I. grup | II. grup | $306 + 544 * BETA(2.13, 11)$ |
| 3 | I. grup | I. grup | II. grup | I. grup | $599 + 64 * BETA(0.446, 0.479)$ * |
| 4 | I. grup | I. grup | II. grup | II. grup | $599 + 64 * BETA(0.446, 0.479)$ |
| 5 | I. grup | II. grup | I. grup | I. grup | $369 + 471 * BETA(1.5, 1.23)$ |
| 6 | I. grup | II. grup | I. grup | II. grup | NORM(1.06e+003, 310) |
| 7 | I. grup | II. grup | II. grup | I. grup | UNIF(793, 1.58e+003) ** |
| 8 | I. grup | II. grup | II. grup | II. grup | UNIF(793, 1.58e+003) |
| 9 | II. grup | I. grup | I. grup | I. grup | $2.16e+003 + 249 * BETA(0.138, 0.162)$ *** |
| 10 | II. grup | I. grup | I. grup | II. grup | $2.16e+003 + 249 * BETA(0.138, 0.162)$ *** |
| 11 | II. grup | I. grup | II. grup | I. grup | $2.16e+003 + 249 * BETA(0.138, 0.162)$ *** |
| 12 | II. grup | I. grup | Anlamsız | Anlamsız | $2.16e+003 + 249 * BETA(0.138, 0.162)$ |
| 13 | II. grup | II. grup | I. grup | I. grup | $2.35e+003 + EXPO(1.09e+003)$ **** |
| 14 | II. grup | II. grup | I. grup | II. grup | $2.35e+003 + EXPO(1.09e+003)$ **** |
| 15 | II. grup | II. grup | II. grup | I. grup | $2.35e+003 + EXPO(1.09e+003)$ **** |
| 16 | II. grup | II. grup | Anlamsız | Anlamsız | $2.35e+003 + EXPO(1.09e+003)$ |

*Kombinasyon 4’ün dağılımı; **Kombinasyon 8’in dağılımı; ***Kombinasyon 12’nin dağılımı, ****Kombinasyon 16’nin dağılımı

ANALİZ DETAYLARI

Minitab paket programı yardımıyla kök yaprak (stem-and-leaf) diyagramları çizilerek uç değerler ve sağlıksız veriler otomatik olarak programa ayıklanmış, ardından gözle yapılan kontrollerde düşük frekanslı uç değerlerden de uygun görülenler veri setinden ayıklanmıştır. Analize alınmayan veriler stem-and-leaf diyagramlarında kırmızı renge boyanmıştır. Ardından Arena Input Analyzer kullanılarak bu örneklem seti için olasılık dağılımı hesaplanmıştır. Kombinasyonlar bazında farklı karar kriterleri için hesaplanan olasılık dağılımları ve parametreleri aşağıda verildiği gibidir.

KOMBİNASYON 1

Örneklem Veri Seti:

| | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 426.06 | 441.06 | 402.60 | 401.16 | 396.30 | 420.60 | 428.52 | 546.60 | 432.72 |
| 416.40 | 404.52 | 411.60 | 402.78 | 414.36 | 422.10 | 416.52 | 435.00 | 492.96 |
| 544.80 | 694.56 | 423.72 | 426.00 | 493.20 | 421.80 | 612.30 | 433.32 | 446.76 |
| 417.00 | 459.00 | 597.00 | 591.00 | 423.00 | 426.00 | 448.56 | 452.16 | 425.52 |
| 358.50 | 357.12 | 456.72 | 424.80 | 428.52 | 443.52 | 425.76 | 570.60 | 423.60 |
| 400.56 | 415.92 | 463.80 | 423.00 | 416.76 | 406.80 | 610.80 | 424.92 | 469.56 |
| 444.36 | 418.80 | 423.00 | 416.76 | 432.72 | 445.20 | 412.80 | 435.60 | 384.00 |
| 460.50 | 429.72 | 407.40 | 528.00 | 411.00 | 636.30 | 414.60 | 331.92 | 427.92 |
| 422.50 | 384.90 | 451.80 | 420.60 | 466.80 | 496.80 | 396.00 | 407.40 | 424.56 |
| 624.00 | 415.56 | 436.20 | 519.30 | 432.00 | 440.10 | 428.40 | 450.6 | 433.00 |
| 507.90 | 354.60 | 477.60 | | | | | | |

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon1 N = 93
Leaf Unit = 1,0

LO 331; 354; 357; 358

6 38 44

8 39 66

16 40 01224677

29 41 1124455666678

(23) 42 001223333344455666678889

41 43 22233556

33 44 0134568

26 45 01269

21 46 0369

17 47 7

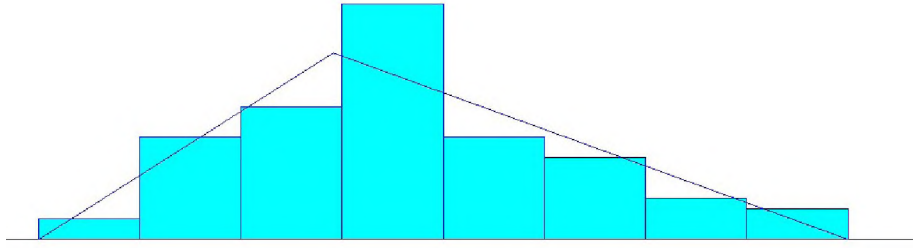
16 48

16 49 236

HI 507; 519; 528; 544; 546; 570; 591; 597; 610; 612; 624; 636; 694

Bu grafiğe göre 384 dk ile 477 dk arası seçilmiştir.

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|--|
| <p>Distribution Summary Distribution: Triangular Expression : TRIA(384, 418, 478) Square Error: 0.012468</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 5 Degrees of freedom = 3 Test Statistic = 4.09 Corresponding p-value = 0.253</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.0812 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 73 Min Data Value = 384 Max Data Value = 478 Sample Mean = 427 Sample Std Dev = 19.2</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 384 to 478 Number of Intervals = 8</p> |
|---|--|

Şekil C.5: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 2

Örnekleme Veri Seti

| | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 387,00 | 469,8 | 399,00 | 469,80 | 388,80 | 444,30 | 306,00 | 409,80 |
| 393,00 | 363,60 | 462,00 | 306,69 | 450,90 | 307,50 | 312,90 | 381,60 |
| 306,60 | 406,80 | 373,80 | 423,00 | 396,00 | 352,80 | 416,40 | 318,00 |
| 409,80 | 369,00 | 354,00 | 366,00 | 816,00 | 849,60 | 368,40 | 462,60 |
| 396,66 | 423,90 | 378,30 | 477,00 | | | | |

Minitab Analizi

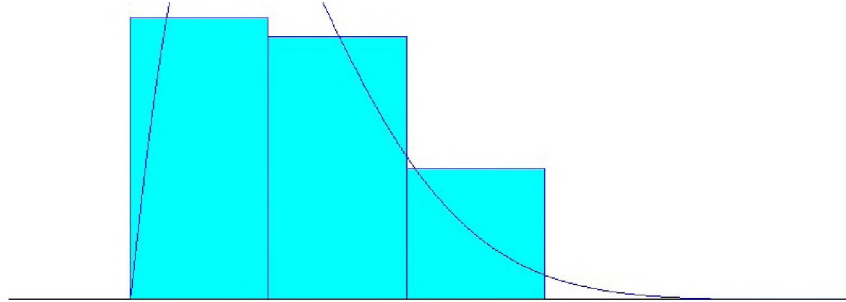
Stem-and-leaf of Kombinasyon2 N = 36

Leaf Unit = 1,0

4 30 6667
6 31 28
6 32
6 33
6 34
8 35 24
12 36 3689
14 37 38
17 38 178
(4) 39 3669
15 40 699
12 41 6
11 42 33
9 43
9 44 4
8 45 0
7 46 2299
3 47 7

HI 816; 849

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|--|
| <p>Distribution Summary Distribution: Beta Expression : 306+544*BETA(2.13, 11) Square Error: 0.014539</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 2 Degrees of freedom = -1 Test Statistic = 0.758 Corresponding p-value < 0.005</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.146 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 36 Min Data Value = 306 Max Data Value = 477 Sample Mean = 395 Sample Std Dev = 53.5</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 306 to 850 Number of Intervals = 7</p> |
|--|--|

Şekil C.6 : Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 4

Örneklem Veri Seti

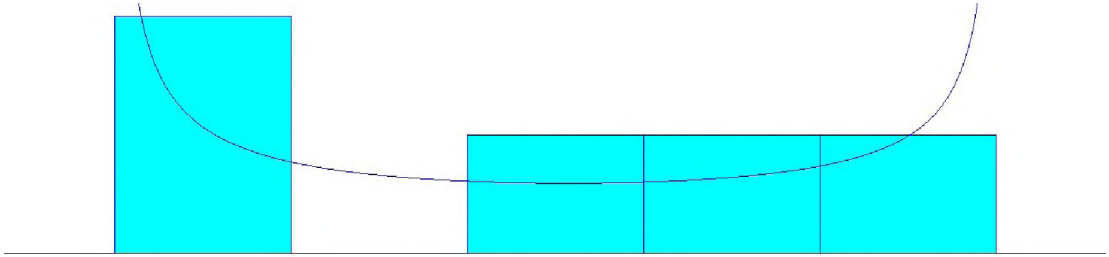
| | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 662.25 | 599.42 | 832.60 | 648.04 | 632.10 | 836.11 | 609.80 | 1248.00 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon4 N = 8
Leaf Unit = 10

1 5 9
(4) 6 0346
3 7
3 8 33
HI 124

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|---|
| <p>Distribution Summary Distribution: Beta Expression : $599+64*BETA(0.446, 0.479)$ Square Error: 0.054100</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.139 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 5 Min Data Value = 599 Max Data Value = 662 Sample Mean = 630 Sample Std Dev = 26</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 599 to 663 Number of Intervals = 5</p> |
|---|---|

Şekil C.7: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 5

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 759.90 | 649.80 | 1100.4 | 705.00 | 738.60 | 505.80 | 566.40 | 696.00 |
| 819.00 | 639.60 | 1413.9 | 690.60 | 369.00 | 521.70 | 755.40 | 804.60 |
| 554.76 | 744.00 | 646.80 | 783.00 | 515.40 | 504.00 | 453.00 | 610.80 |
| 741.00 | 702.90 | 832.20 | 527.25 | 495.36 | 510.00 | 579.00 | 592.80 |
| 613.38 | 604.50 | 583.80 | 495.60 | 483.30 | 479.40 | 720.60 | 554.00 |
| 840.00 | 562.50 | 828.60 | 574.95 | | | | |

Minitab Analizi

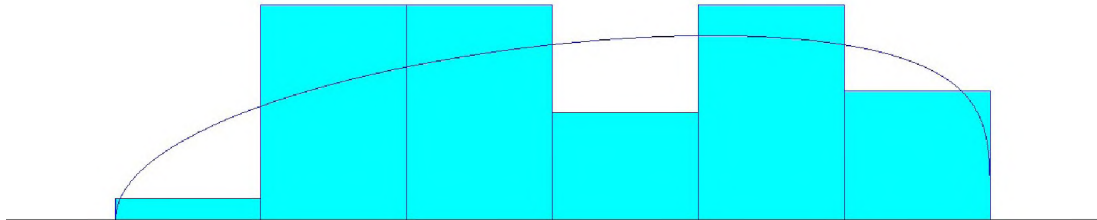
Stem-and-leaf of Kombinasyon5 N = 44
Leaf Unit = 1,0

```
1 36 9
1 37
1 38
1 39
1 40
1 41
1 42
1 43
1 44
2 45 3
2 46
3 47 9
4 48 3
6 49 55
8 50 45
10 51 05
12 52 17
12 53
12 54
14 55 44
16 56 26
18 57 49
19 58 3
20 59 2
21 60 4
(2) 61 03
21 62
21 63 9
20 64 69
18 65
18 66
18 67
18 68
18 69 06
16 70 25
14 71
14 72 0
13 73 8
12 74 14
```

10 75 59
 8 76
 8 77
 8 78 3
 7 79
 7 80 4
 6 81 9
 5 82 8
 4 83 2
 3 84 0

HI 1100; 1413

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|--|
| <p>Distribution Summary Distribution: Beta Expression : $369+471*BETA(1.5, 1.23)$ Square Error: 0.022991</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 5 Degrees of freedom = 2 Test Statistic = 2.59 Corresponding p-value = 0.283</p> | <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.106 Corresponding p-value > 0.15</p> <p>Data Summary Number of Data Points = 42 Min Data Value = 369 Max Data Value = 840 Sample Mean = 627 Sample Std Dev = 121</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 369 to 840 Number of Intervals = 6</p> |
|--|--|

Şekil C.8: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBINASYON 6

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1388 | 1614 | 1001 | 803 | 1008 | 1691 | 1239 | 1195 | 2107 | 921 | 1613 | 1072 | 977 |
| 1673 | 1194 | 1047 | 788 | 917 | 3713 | 1293 | 1068 | 3395 | 670 | 1279 | 732 | 1977 |
| 1510 | 3463 | 971 | 869 | 404 | 716 | 908 | 1108 | 612 | 1346 | 2762 | 805 | |
| 1365 | 836 | 904 | 862 | 1255 | 1491 | 1311 | 840 | 616 | 1211 | 1126 | 1931 | 948 |
| 3036 | 542 | | | | | | | | | | | |

Minitab Analizi

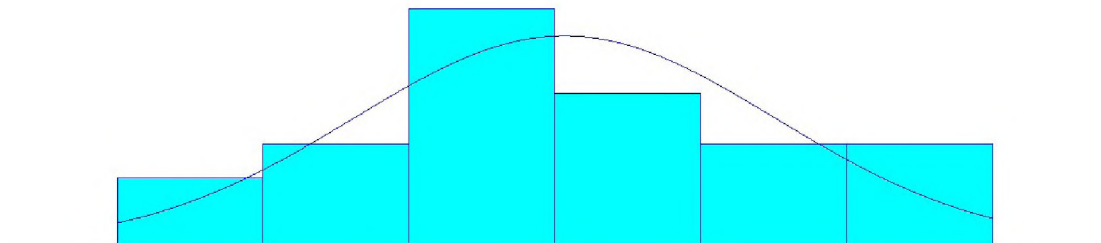
Stem-and-leaf of Kombinasyon6 N = 53

Leaf Unit = 10

```

1 4 0
2 5 4
5 6 117
8 7 138
14 8 003466
21 9 0012477
26 10 00467
(4) 11 0299
23 12 13579
18 13 1468
14 14 9
13 15 0
12 16 1179
8 17
8 18
8 19 37
6 20
6 21 0
HI 276; 303; 339; 346; 371
    
```

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|--|
| Distribution Summary Distribution : Normal Expression : NORM(1.06e+003,310) Square Error : 0.013681 Chi Square Test Number of intervals = 4 | Data Summary Number of Data Points = 45 Min Data Value = 404 Max Data Value = 1.69e+003 Sample Mean = 1.06e+003 Sample Std Dev = 314 Histogram Summary |
|---|--|

| | |
|-------------------------------|--------------------------|
| Degrees of freedom = 1 | Histogram Range = 403 to |
| Test Statistic = 1.75 | 1.69e+003 |
| Corresponding p-value = 0.204 | Number of Intervals = 6 |
| Kolmogorov-Smirnov Test | |
| Test Statistic = 0.0787 | |
| Corresponding p-value > 0.15 | |

Şekil C.9: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 8

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|------|--------|--------|
| 1576.8 | 793.44 | 1281.6 | 1420.5 | 1407 | 805.98 | 1059.6 |
|--------|--------|--------|--------|------|--------|--------|

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon8 N = 7

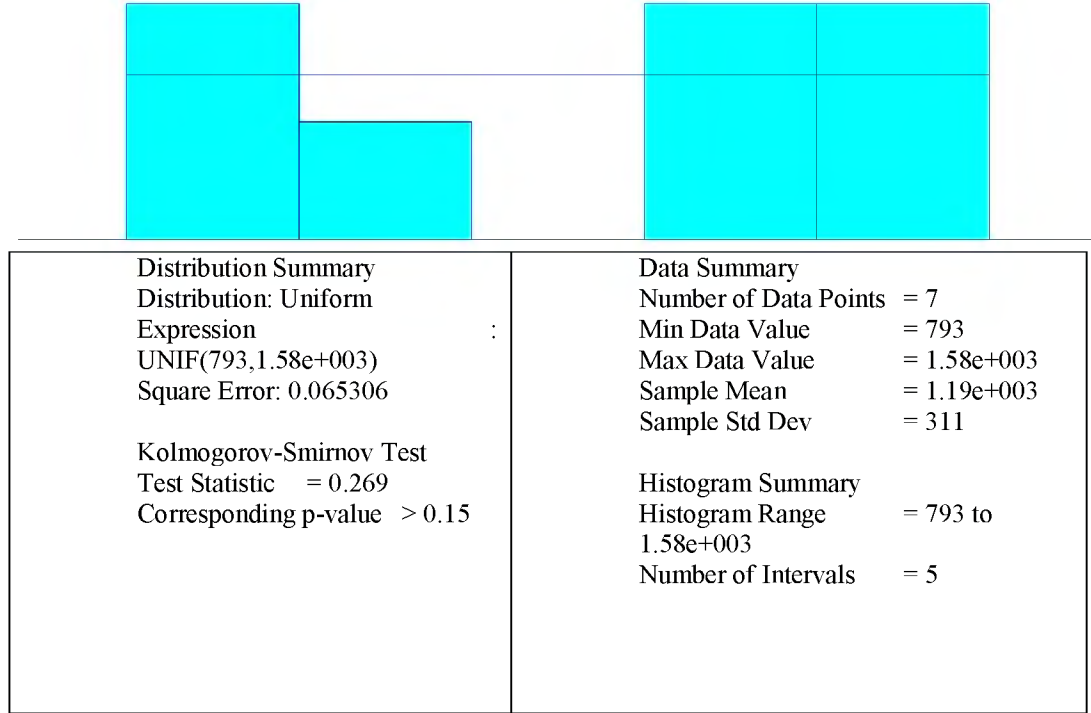
Leaf Unit = 10

```

1 7 9
2 8 0
2 9
3 10 5
3 11
(1) 12 8
3 13
3 14 02
1 15 7

```

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.10: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 12

Örneklem Veri Seti

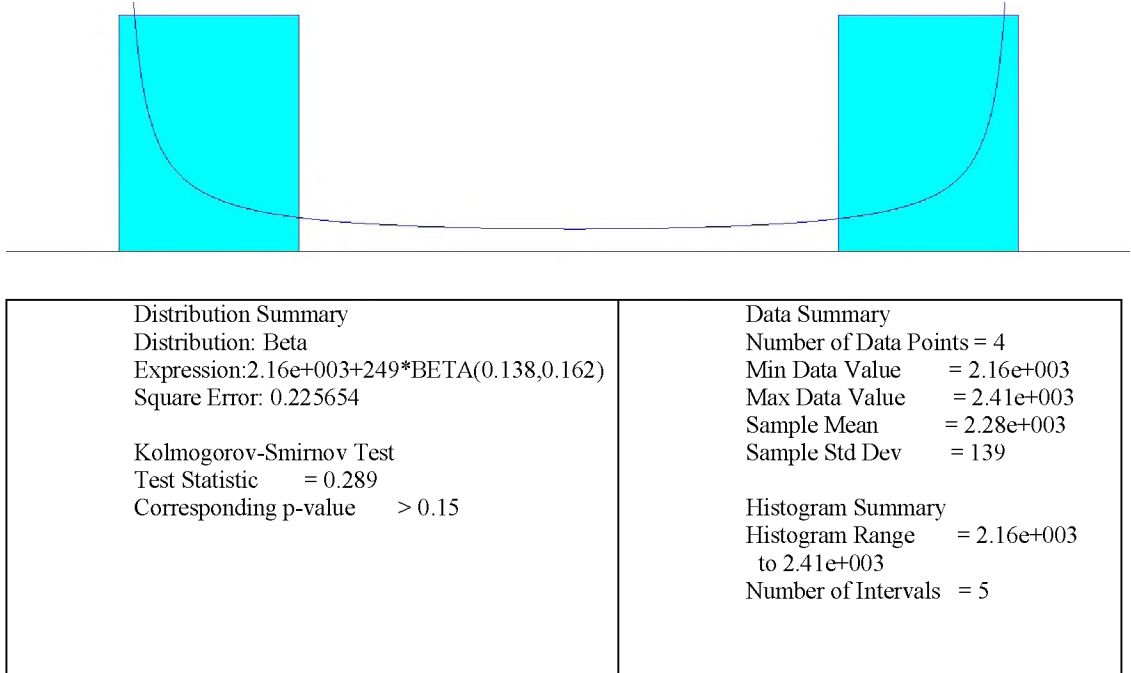
2409 2167 2160 2400

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 12 N = 4
Leaf Unit = 10

2 21 66
2 22
2 23
24 00

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.11: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 16 **Örneklem Veri Seti**

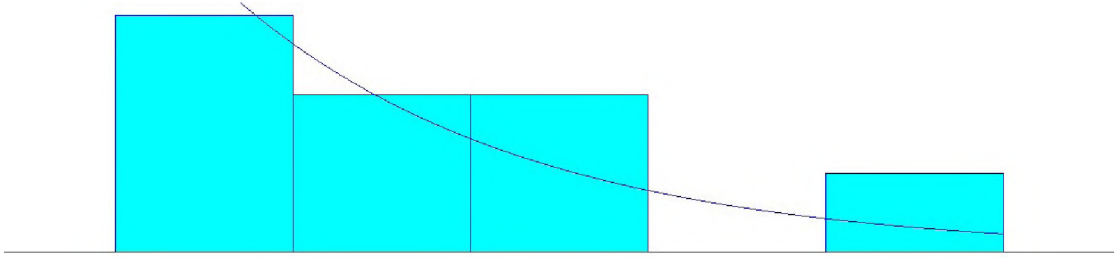
| | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 3138.20 | 5643.30 | 2345.60 | 2433.00 | 2367.45 | 3723.60 | 4314.60 | 7186.80 |
| 3486.00 | | | | | | | |

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 16 N = 9
Leaf Unit = 100

3 2 334
(3) 3 147
3 4 3
2 5 6
HI 71

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|--|
| <p>Distribution Summary Distribution: Exponential Expression : 2.35e+003+EXPO(1.09e+003) Square Error: 0.032257</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.297 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 8 Min Data Value = 2.35e+003 Max Data Value = 5.64e+003 Sample Mean = 3.43e+003 Sample Std Dev = 1.14e+003</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 2.35e+003 to 5.64e+003 Number of Intervals = 5</p> |
|---|--|

Şekil C.12: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

EK C.11 Montaj Atölyesi D404 Operasyonu için İşlem Sürelerine İlişkin Olasılık Dağılımları

D404 operasyonu üzerinde etkili tasarım kriterlerinden trafo boyu (KH boyu), bağlantı tipi, alçak gerilim (AG) izolatör sayısı ve güç işlem süreleri üzerinde asıl belirleyici faktörlerdir. Bunların haricinde transformatörün gerilimi, AG izolatör çıkış yerleri, AG sargı tipi, bobin montaj boyu (L), trafodaki kat sayısı sıkıştırma tipi gibi pek çok tasarım parametresi de işlem sürelerine belirli oranlarda etki etmektedir. Ancak en başta belirtilen 4 faktör işlem süreleri üzerinde anlamlı bir değişime sebep olmaktadır. Emek yoğun olan D404 operasyonu işlem sürelerinin tahmininde olasılık dağılımından yararlanılmıştır. Olasılık dağılımı hesabında faktörlerin seviyelerine göre bölümlenmeye gidilmiş ve bu amaçla özel bir deney tasarlanmıştır. Aşağıda verilen tabloda faktörler ve seviyeleri görülmektedir:

Tablo C.15: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri

| Faktör | Seviyeler | | |
|----------------------|-----------|--------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Trafo Boyu (KH boyu) | KH≤1000 | KH>1000 | Anlamsız |
| Bağlantı Tipi | Lama | Örgülü bakır | Anlamsız |
| AG İzolatör Sayısı | ≤4 | >4 | Anlamsız |
| Güç | ≤630 | 630<Güç≤4000 | >4000 |

Trafo boyunun (KH boyu) 1000'den küçük olduğu durumlarda sadece bağlantı tipi D404 operasyonunun işlem süresine etki etmekte olup AG izolatör sayısı ve güç faktörlerinin etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir. Dolayısıyla yapılan deney tasarımında trafo boyunun I. seviyesi (KH≤1000) için sadece bağlantı tipinin I. ve II. Seviyeleri dikkate alınarak deney kombinasyonu oluşturulmuştur (1. ve 2. deneyler). Trafo boyunun 1000'den büyük olduğu durumda ise bağlantı tipinin lama veya örgülü bakır olması, izolatör sayısının 4'ten büyük veya küçük olması ve güç aralığı işlem süresi üzerinde etkilidir. Bu kriterlere uygun deney tasarımı, MINITAB'ın deney tasarımı modülünde yer alan standart ortogonal dizilere benzer şekilde ancak uygun deneyler seçilerek oluşturulmuştur. Deney tasarımı aşağıda Tablo 1.4'de verildiği gibidir. Olasılık dağılımlarının belirlenmesi için oluşturulan deney tasarımı tablosunda 5, 6, 8, 12, 13 ve 14 numaralı kombinasyonlar

gözlenememiştir. Bunun nedeni trafo tasarlanırken güç, KH tipi gibi parametreler arasında aynı yönlü kuvvetli korelasyon olmasıdır. Örneğin Güç arttıkça KH boyu da artmaktadır. 1000 mm'den küçük KH boyları (trafo çerçeve boyu) ağırlıklı olarak 630 kVA altındaki trafolarla tasarlanmaktadır. Bu nedenle 1. ve 2. kombinasyonlarda KH boyunun 1000'den küçük olduğu durumlarda çok sayıda izolator (>4) ve yüksek güçte (>630 kVA) tasarım bulunmamaktadır. 5, 6, 8, 12, 13 ve 14 numaralı kombinasyonlarda belirtilen tiplerde trafo dizaynı talep edilen trafo tasarımları değildir. Ancak simülasyon yazılımında oluşturulan karar ağacına ait karar durumlarını sağlıklı çalıştırabilmek için bu kombinasyonlar içinde olasılık dağılımı girmek gerekmektedir. Bu nedenle 5, 6, 8, 12, 13 ve 14 numaralı kombinasyonlar için olasılık dağılımı; KH boyu, bağlantı tipi, izolator sayısı aynı olan en yakın kombinasyonun değerleri olarak belirlenmiştir. Bu nedenle 5. kombinasyonun olasılık dağılımı olarak 4. kombinasyonun dağılımı; benzer şekilde 6 ve 8 nolu kombinasyonlar için 7. kombinasyonun dağılımı; 12, 13 ve 14 nolu kombinasyonlar içinde 11 nolu kombinasyonun olasılık dağılımı girilmiştir.

Tablo C.16: Deney tasarımı

| Kombinasyon | KH Boyu | Bağlantı Tipi | İzolator Sayısı | Güç | Olasılık Dağılımları |
|-------------|----------|---------------|-----------------|-----------|--------------------------------|
| 1 | I. grup | I. grup | Anlamsız | Anlamsız | UNIF(99, 223) |
| 2 | I. grup | II. grup | Anlamsız | Anlamsız | 64 + EXPO(52) |
| 3 | II. grup | I. grup | I. grup | I. grup | 123 + GAMM(10.6, 1.79) |
| 4 | II. grup | I. grup | I. grup | II. grup | 149 + GAMM(36.6, 2.28) |
| 5 | II. grup | I. grup | I. grup | III. grup | 149 + GAMM(36.6, 2.28)* |
| 6 | II. grup | I. grup | II. grup | I. grup | 355 + GAMM(126, 1.51)** |
| 7 | II. grup | I. grup | II. grup | II. grup | 355 + GAMM(126, 1.51) |
| 8 | II. grup | I. grup | II. grup | III. grup | 355 + GAMM(126, 1.51)** |
| 9 | II. grup | II. grup | I. grup | I. grup | 126 + 233 * BETA(0.453, 0.508) |
| 10 | II. grup | II. grup | I. grup | II. grup | 213 + 285 * BETA(0.641, 0.756) |
| 11 | II. grup | II. grup | I. grup | III. grup | NORM(600, 229) |
| 12 | II. grup | II. grup | II. grup | I. grup | NORM(600, 229)*** |
| 13 | II. grup | II. grup | II. grup | II. grup | NORM(600, 229) *** |
| 14 | II. grup | II. grup | II. grup | III. grup | NORM(600, 229)*** |

*Kombinasyon 4'ün dağılımı; **Kombinasyon 7'nin dağılımı; ***Kombinasyon 13'ün dağılımı

ANALİZ DETAYLARI

Minitab paket programı yardımıyla kök yaprak (stem-and-leaf) diyagramları çizilerek uç değerler ve sağlıksız veriler otomatik olarak programa ayıklanmış, ardından gözle yapılan kontrollerde düşük frekanslı uç değerlerden de uygun görülenler veri setinden ayıklanmıştır (ayıklanan veriler kırmızı renkle işaretlenmiştir). Ardından Arena Input Analyzer kullanılarak bu örneklem seti için olasılık dağılımı hesaplanmıştır. Kombinasyonlar bazında farklı karar kriterleri için hesaplanan olasılık dağılımları ve parametreleri aşağıda verildiği gibidir.

KOMBİNASYON 1

Örneklem Veri Seti

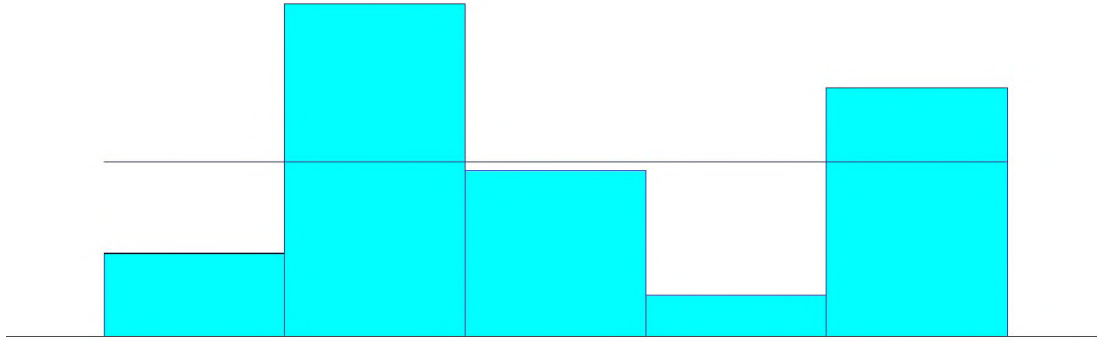
| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 126 | 126.9 | 202.8 | 169.8 | 153 | 111.9 | 132 | 159.72 | 132.6 | 150 |
| 26.9 | 222.6 | 142.3 | 99 | 141.3 | 180.3 | 127.8 | 213.2 | 199.8 | 216.6 |
| 198.6 | | | | | | | | | |

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Konbinasyon 1 N = 21
Leaf Unit = 10

```
1 0 9
10 1 122223344
(7) 1 5556899
4 2 0112
```


Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|---|
| <p>Distribution Summary</p> <p>Distribution: Uniform</p> <p>Expression : UNIF(99, 223)</p> <p>Square Error: 0.074376</p> <p>Chi Square Test</p> <p>Number of intervals = 2</p> <p>Degrees of freedom = 1</p> <p>Test Statistic = 1.88</p> <p>Corresponding p-value = 0.189</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test</p> <p>Test Statistic = 0.136</p> <p>Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary</p> <p>Number of Data Points = 21</p> <p>Min Data Value = 99</p> <p>Max Data Value = 223</p> <p>Sample Mean = 159</p> <p>Sample Std Dev = 37.5</p> <p>Histogram Summary</p> <p>Histogram Range = 99 to 223</p> <p>Number of Intervals = 5</p> |
|--|---|

Şekil C.13: Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi

KOMBİNASYON 2

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 64.5 | 111 | 207 | 82.8 | 120 | 159.3 | 165.05 | 103.8 | 114 | 103.8 |
| 84 | 70.9 | 81.3 | 108 | 157.8 | 96.6 | 87 | 90 | 108.6 | 144 |
| 88.8 | 78 | 273 | 84 | 136.8 | 97.8 | 96.6 | 112.8 | 93 | 87.9 |
| 187.8 | | | | | | | | | |

Minitab Analizi

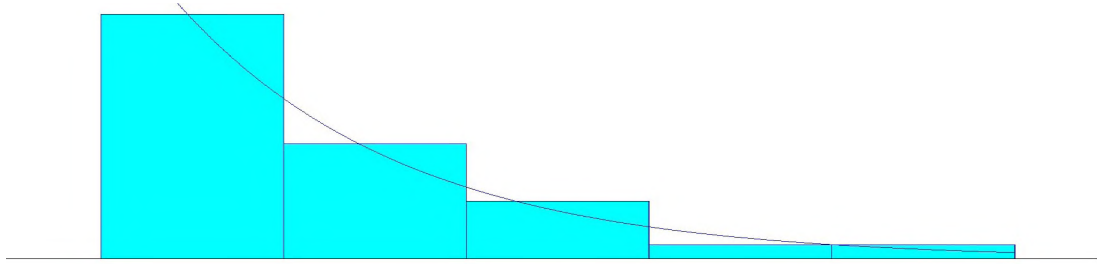
Stem-and-leaf of Konbinasyon 2 N = 31
Leaf Unit = 10

```

15 0 677888888899999
(10) 1 0000111234
6 1 5568
HI 20; 27

```

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|--|
| <p>Distribution Summary Distribution: Exponential Expression : 64 + EXPO(52) Square Error: 0.000870</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 3 Degrees of freedom = 1 Test Statistic = 0.0367 Corresponding p-value > 0.75</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.186 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 31 Min Data Value = 64.5 Max Data Value = 273 Sample Mean = 116 Sample Std Dev = 45.1</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 64 to 273 Number of Intervals = 5</p> |
|---|--|

Şekil C.14: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 3

Örneklem Veri Seti

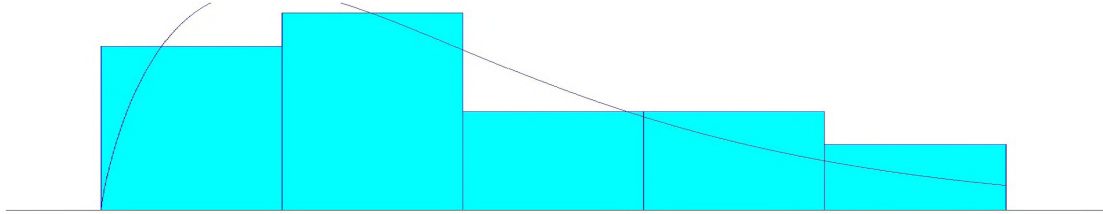
| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 158.5 | 129.9 | 132.4 | 129.1 | 168.4 | 131.5 | 126.3 | 143.1 | 136.56 | 146.5 |
| 154.6 | 153 | 138.6 | 139.6 | 123.9 | 146.8 | 140.2 | 162.6 | 138.4 | |

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Konbinasyon 3 N = 19
Leaf Unit = 1,0

```
4 12 3699
(6) 13 126889
9 14 0366
5 15 348
2 16 28
```

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|---|
| <p>Distribution Summary Distribution: Gamma Expression : 123GAMM(10.6, 1.79) Square Error: 0.006423</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.126 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 19 Min Data Value = 124 Max Data Value = 168 Sample Mean = 142 Sample Std Dev = 12.6</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 123 to 169 Number of Intervals = 5</p> |
|--|---|

Şekil C.15: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 4

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 208.5 | 198.9 | 258 | 177.72 | 333 | 336.6 | 193.5 | 303.6 | 243.6 | 225 |
| 201 | 263.5 | 210.7 | 238.6 | 235.2 | 230.5 | 240 | 210.96 | 194.2 | 193.8 |
| 313.8 | 282.3 | 269.6 | 200.8 | 189.1 | 183 | 252.07 | 268.44 | 250.8 | 231.6 |
| 149.7 | 243 | 264.9 | 270 | 210 | 249.3 | 219.08 | 292.8 | 567.3 | 171.6 |
| 181.2 | 208.8 | 210.6 | 252 | 267.6 | 158.16 | 154.2 | 214.8 | 159.36 | 191.8 |
| 188.5 | 199.8 | 183 | 186.12 | 258.3 | 214.2 | 217.2 | 210 | 364.8 | 192 |
| 294.6 | 334.5 | 243 | 182.52 | 190.65 | 195.6 | 216.6 | 300.96 | 241.2 | 330 |
| 205.8 | 330 | 264 | 168.6 | 218.76 | 216.12 | 266.1 | 194.67 | 291.6 | 241.8 |
| 292.6 | 226.8 | 190.8 | | | | | | | |

Minitab Analizi

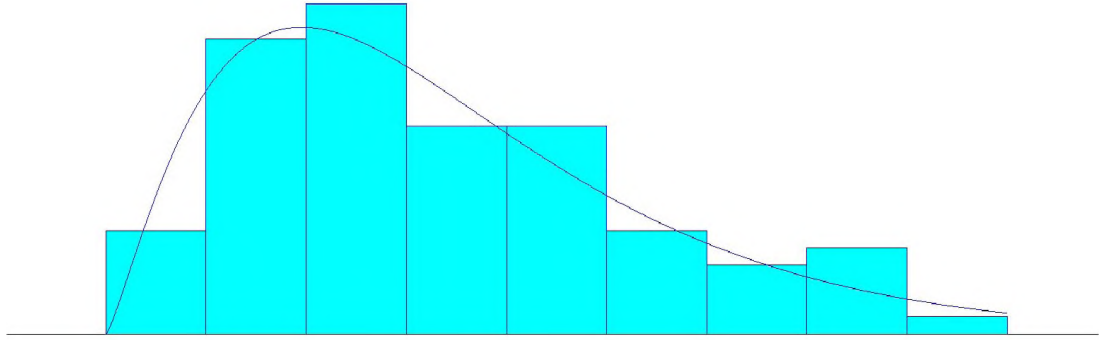
Stem-and-leaf of Konbinasyon 4 N = 83
 Leaf Unit = 10

```

25 1 45556778888889999999999
(48) 2 00000111111111111112233334444444555556666666789999
10 3 001333336
    
```

HI 56

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|---|
| <p>Distribution Summary Distribution: Gamma Expression : $149 + \text{GAMM}(36.6, 2.28)$ Square Error: 0.003177</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 5 Degrees of freedom = 2 Test Statistic = 1.18 Corresponding p-value = 0.565</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.073 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 82 Min Data Value = 150 Max Data Value = 365 Sample Mean = 232 Sample Std Dev = 48.3</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 149 to 365 Number of Intervals = 9</p> |
|--|---|

Şekil C.16: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 7

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | | | |
|---------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 1385.25 | 544.8 | 739.8 | 879 | 436.8 | 682.5 | 767.8 | 521.76 | 660 | 920.2 |
| 578.7 | 468 | 870.9 | 630 | 589.8 | 671.52 | 480 | 430.8 | 462.6 | 426.6 |
| 417 | 436.8 | 447.72 | 368.4 | 355.8 | 519 | 441.9 | 524.25 | 490.8 | 541.8 |
| 516 | 426.9 | 688.8 | 453.6 | 390.6 | 894.6 | 669 | 387.3 | 511.8 | 477 |
| 1035.3 | 442.6 | 522.6 | 615.6 | 560.3 | | | | | |

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Konbinasyon 7 N = 45

Leaf Unit = 10

4 3 5689

19 4 122333444566789

(11) 5 11122244678

15 6 1366788

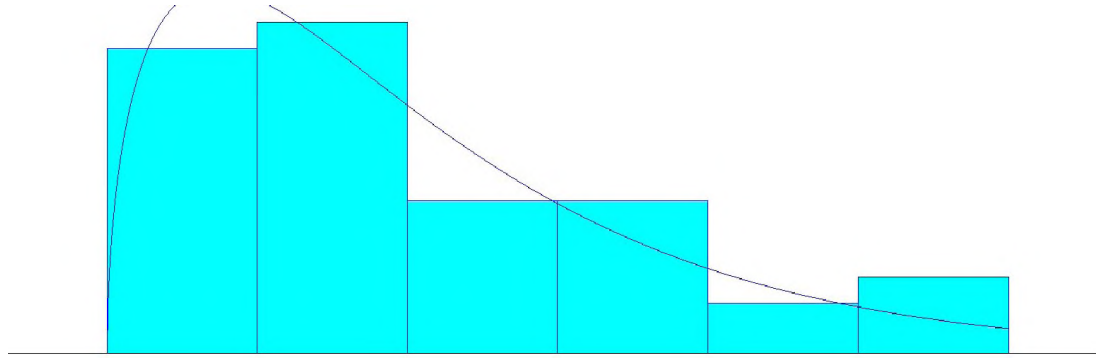
8 7 36

6 8 779

3 9 2

HI 103, 138

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|---|
| <p>Distribution Summary Distribution: Gamma Expression : $355 + \text{GAMM}(126, 1.51)$ Square Error: 0.005275</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 4 Degrees of freedom = 1 Test Statistic = 1.41 Corresponding p-value = 0.241</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.108 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 42 Min Data Value = 356 Max Data Value = 895 Sample Mean = 546 Sample Std Dev = 139</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 355 to 895 Number of Intervals = 6</p> |
|---|---|

Şekil C.17: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 9

Örneklem Veri Seti

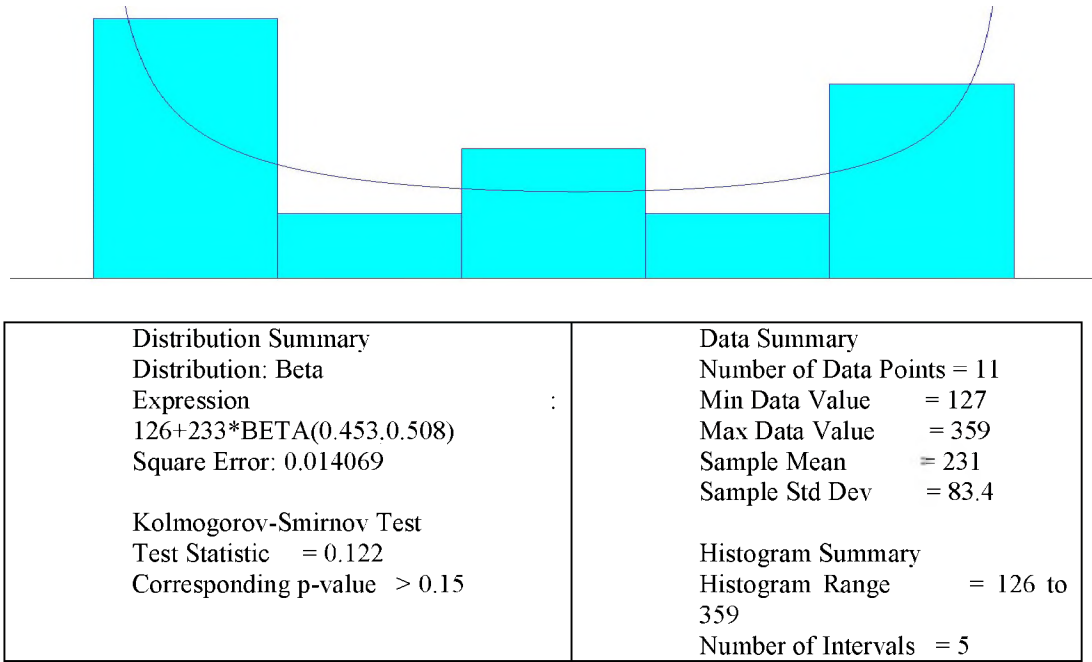
| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 192.9 | 129.6 | 165.6 | 315.6 | 333.6 | 290.4 | 358.8 | 225.6 | 160.5 | 126.6 |
| 240 | | | | | | | | | |

Minitab Analizi,

Stem-and-leaf of Kombinasyon 9 N = 11
Leaf Unit = 10

5 1 22669
(3) 2 249
3 3 135

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.18: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 10

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|
| 396 | 351 | 213 | 263.4 | 286.8 | 675.6 | 310.8 | 433 | 258.6 | 474.6 |
| 255.9 | 303.6 | 498 | 271.8 | 370.8 | 469.2 | | | | |

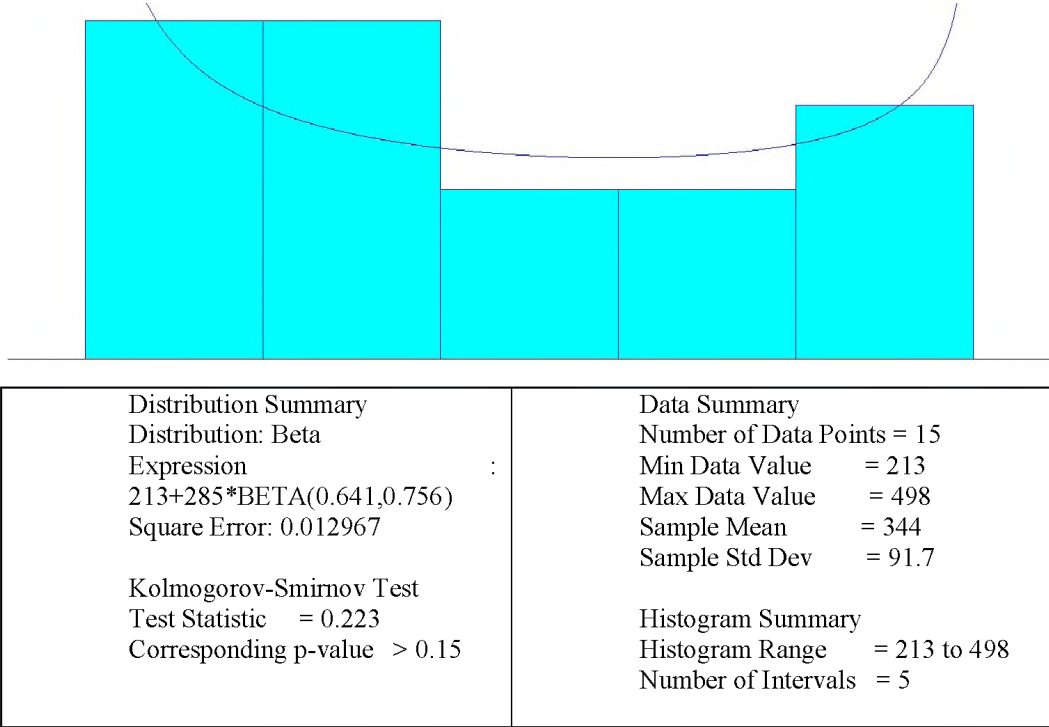
Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Konbinasyon 10 N = 16
 Leaf Unit = 10

```

6 2 155678
(5) 3 01579
5 4 3679
1 5
1 6 7
  
```

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.19: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 11

Örnekleme Veri Seti

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 367.8 | 696.9 | 235.8 | 640.6 | 183 | 508.8 | 489.6 | 382.8 | 900.6 | 615.6 |
| 1704.6 | 1364.4 | 498.6 | 546.6 | 561.6 | 658.8 | 702 | 750.2 | 309 | 394.8 |
| 830.4 | 1069.8 | 1118.4 | 576.9 | 684.9 | 672.3 | | | | |

Minitab Analizi

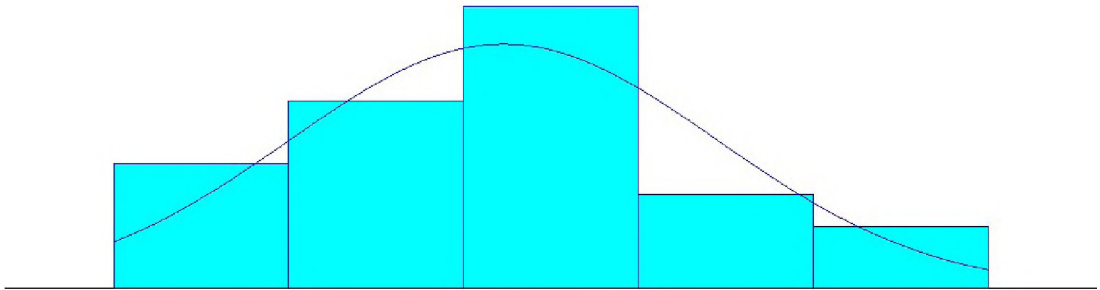
Stem-and-leaf of C1 N = 26

Leaf Unit = 10

```
1 1 8
2 2 3
6 3 0689
8 4 89
12 5 0467
(6) 6 145789
8 7 05
6 8 3
5 9 0
```

4 10 6
3 11 1
HI 136; 170

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|---|
| <p>Distribution Summary Distribution: Normal Expression : NORM(600,229) Square Error: 0.011159</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 3 Degrees of freedom = 0 Test Statistic = 0.554 Corresponding p-value < 0.005</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.154 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 24 Min Data Value = 183 Max Data Value = 1.12e+003 Sample Mean = 600 Sample Std Dev = 234</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 183 to 1.12e+003 Number of Intervals = 5</p> |
|--|---|

Şekil C.20: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

EK C.12 Montaj Atölyesi D402 Operasyonu için İşlem Sürelerine İlişkin Olasılık Dağılımları

Montaj Atölyesi D402 operasyonunda, hazırlanacak olan malzemelerin miktar ve boyutları dolayısıyla işlem süreleri, transformatörün güç grubuna göre değişmektedir. Bunun yanında emek yoğun iş olması sebebiyle marangoz operasyonunun işlem süresi matematiksel model yerine olasılık dağılımı ile belirlenebilmektedir. Bu kapsamda 55 adet gözlem değeri analiz edilmiştir. Gözlem değerleri Minitab'da kök yaprak diyagramları kullanılarak analiz edilmiş ve analiz dışında bırakılması gereken değer olmadığı görülmüştür. Ardından Arena Input Analyzer modülü ile yapılan analiz sonucunda D402 operasyonunun işlem süresinin olasılık dağılımı $30 + 15 * \text{BETA}(0.288, 0.324)$ olarak bulunmuştur.

Örneklem Veri Seti

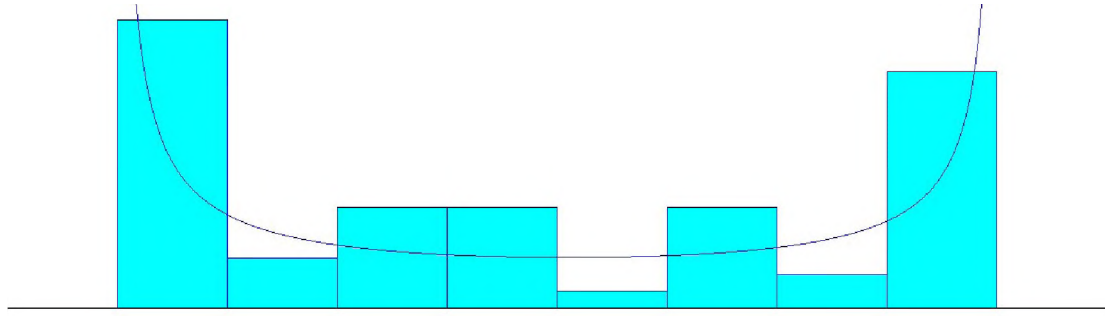
| | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 40.0 | 45.0 | 45.0 | 37.5 | 45.0 | 30.0 | 37.5 | 45.0 | 39.0 | 33.0 | 30.0 | 35.0 | 30.0 | 30.0 |
| 33.3 | 40.0 | 35.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 45.0 | 30.0 | 37.5 | 30.0 | 30.0 | 35.0 | 35.0 | 35.0 |
| 45.0 | 30.0 | 45.0 | 45.0 | 37.5 | 37.5 | 45.0 | 45.0 | 37.5 | 40.0 | 40.0 | 40.0 | 40.0 | 30.0 |
| 45.0 | 30.0 | 33.3 | 31.7 | 40.0 | 30.0 | 30.0 | 45.0 | 41.3 | 45.0 | 42.0 | 45.0 | 45.0 | 30.0 |
| 35.0 | | | | | | | | | | | | | |

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of C1 N = 55
Leaf Unit = 0,10

```
16 30 00000000000000000000
17 31 7
17 32
20 33 033
20 34
26 35 000000
26 36
(6) 37 555555
23 38
23 39 0
22 40 000000
16 41 3
15 42 0
14 43
14 44
14 45 0000000000000000
```

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|--|
| <p>Distribution Summary Distribution: Beta Expression : $30+15*BETA(0.288, 0.324)$ Square Error: 0.049163</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 5 Degrees of freedom = 2 Test Statistic = 5.23 Corresponding p-value = 0.0776</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 1.02 Corresponding p-value < 0.01</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 55 Min Data Value = 30 Max Data Value = 45 Sample Mean = 37.1 Sample Std Dev = 5.9</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 30 to 45 Number of Intervals = 8</p> |
|--|--|

Şekil C.21: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

EK C.13 Son İşlemler Atölyesi D500 Operasyonu için İşlem Sürelerine İlişkin Olasılık Dağılımları

D550 kodlu operasyonda fırına giren transformatörlerin izolasyon miktarlarına göre transformatörlerin fırında kalma süreleri değişmektedir. Bu nedenle aktif kısım fırınlama işleminde toplam fırına giren izolasyon miktarı fırınlama süreleri üzerinde asıl belirleyici faktördür. İzolasyon miktarının 1000 kg dan fazla yada az olmasına (≤ 1000 kg) göre iki farklı durum vardır.

Örneklem Veri Seti (Toplam izolasyon miktarı ≤ 1000):

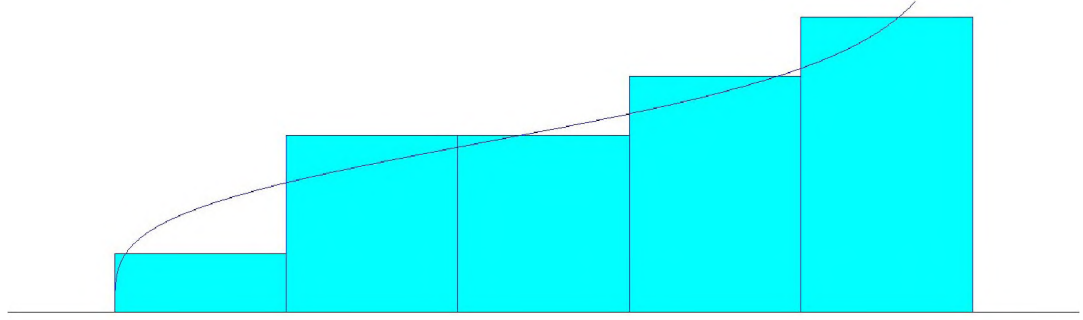
| | | | | | | | | | | | |
|------|----|------|----|------|----|----|------|------|----|----|----|
| 14.5 | 18 | 21.5 | 22 | 20.5 | 24 | 17 | 19.5 | 20.5 | 26 | 23 | 25 |
| 25.5 | 24 | 21.5 | 18 | | | | | | | | |

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of D500 N = 16
Leaf Unit = 1,0

```
1 1 4
2 1 7
5 1 889
(4) 2 0011
7 2 23
5 2 4455
1 2 6
```

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|--|
| <p>Distribution Summary Distribution: Beta Expression: $14+12*BETA(1.27, 0.816)$ Square Error:0.003592</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.11 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 16 Min Data Value = 14.5 Max Data Value = 26 Sample Mean = 21.3 Sample Std Dev = 3.33</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 14 to 26 Number of Intervals= 5</p> |
|--|--|

Şekil C.22: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

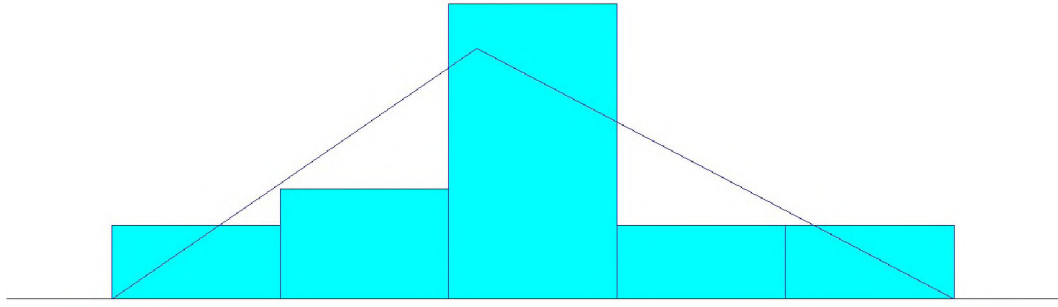
Örnekleme veri Seti (Toplam izolasyon miktarı > 1000) :

| | | | | | | | | |
|------|------|------|------|----|----|------|------|----|
| 25,5 | 22,5 | 26,5 | 25,5 | 30 | 30 | 31.5 | 23.5 | 29 |
| 30 | 31 | 31 | 29.5 | | | | | |

Stem-and-leaf of D500_2 N = 17
Leaf Unit = 1,0

```
2 2 23
4 2 55
5 2 6
7 2 99
(6) 3 000111
4 3 22
2 3 5
1 3
1 3 8
```

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|---|
| Distribution Summary Distribution: Triangular Expression : TRIA(22, 28.9, 38) Square Error: 0.036753 | Data Summary Number of Data Points = 17 Min Data Value = 22.5 Max Data Value = 38 Sample Mean = 29.6 Sample Std Dev = 4.04 |
| Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.148 Corresponding p-value > 0.15 | Histogram Summary Histogram Range = 22 to 38 Number of Intervals = 5 |

Şekil C.23: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

EK C.14 Son İşlemler Atölyesi D550 Operasyonu için İşlem Sürelerine İlişkin Olasılık Dağılımları

D550 kodlu operasyon üzerinde etkili kriterlerden güç ve üretilen partideki ürün adedi işlem süreleri üzerinde asıl belirleyici faktörlerdir. Bunların haricinde kullanılan izolatör sayısı, trafodaki kat sayısı, izolatör çıkış yerleri (yukarıdan veya yandan), AG bağlantılarının lama veya örgülü bakır olması, AG'nin çift çıkışlı olması, sıkıştırma tipi (U Profil, Ağaç, Çelik Çember), aktif kısım boyu (KH), şalter tipi gibi pek çok tasarım parametresi de işlem sürelerine belirli oranlarda etki etmektedir. Ancak en başta belirtilen 2 faktör işlem süreleri üzerinde anlamlı bir değişime sebep olmaktadır. Transformatörün gücü D550 operasyonunun işlem süresine doğrudan etki etmektedir. Bir transformatörün gücünün artması o transformatörün boyutlarını, kullanılan malzemelerin ebatlarını vb. doğru orantılı olarak arttıracaktır. Bu da işlem sürelerinin uzamasına sebep olacaktır. Üretilen partideki ürün adedinin D550 işlem süreleri üzerinde etkisi vardır. Partide az sayıda sipariş olduğunda işi ilk defa yapmaya bağlı olarak işlem süresi uzun oluyorken, partideki sipariş sayısı arttıkça işi öğrenmeye bağlı olarak işlem süreleri git gide bariz bir şekilde düşmektedir. Diğer operasyonlardan farklı olarak, D550 operasyonunun böyle bir karakteristiği vardır. Dolayısıyla partide az sayıda trafo varken işlem süreleri daha uzun, ancak trafo sayısı arttıkça zamanla daha kısa işlem süreleri gözlenmektedir. Emek yoğun bu operasyon için olasılık dağılımlarından yararlanılmıştır. Olasılık dağılımı hesabında faktörlerin seviyelerine göre bölümlenmeye gidilmiş ve bu amaçla faktöriyel tasarımdan yararlanılmıştır. Aşağıda verilen tabloda faktörler ve seviyeleri görülmektedir:

Tablo C.17: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri

| Faktör | Seviyeler | | |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Güç | ≤ 630 | $630 < \text{Güç} \leq 4000$ | > 4000 |
| Partideki Üretim Adeti | ≤ 10 (az sayıdaki işler) | > 10 (seri işler) | Anlamsız |

Bu faktörler ve seviyeleri için tasarlanan deney aşağıda Tablo C.18'de verilmiştir:

Tablo C.18: Deney tasarımı

| Kombinasyon | Güç | Partideki Üretim Adeti | Olasılık Dağılımları |
|-------------|-----------|------------------------|--|
| 1 | I. grup | I. grup | $52 + 225 * \text{BETA}(0.788, 0.626)$ |
| 2 | I. grup | II. grup | UNIF(105, 168) |
| 3 | II. grup | I. grup | TRIA(82, 133, 812) |
| 4 | II. grup | II. grup | $105 + \text{WEIB}(40.4, 0.459)$ |
| 5 | III. grup | I. grup | $401 + 1.05e+003 * \text{BETA}(0.221, 0.235)$ |
| 6 | III. grup | II. grup | $401 + 1.05e+003 * \text{BETA}(0.221, 0.235)$ * |

**Kombinasyon 5'in dağılımı*

Yukarıda verilen deney kombinasyonları için ilgili veriler önce Minitab istatistiksel paket programında steam-and-leaf diyagramları kullanılarak analiz edilmiştir. Analizde uç değerler program tarafından otomatik olarak ayıklanmıştır. Buna rağmen istenmeyen veya çok uç değer olduğu düşünülen gözlem verileri manuel olarak ayıklandıktan sonra geriye kalan veriler Arena Input Analyzer modülü kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan analizlerin detayları aşağıdaki gibidir:

ANALİZ DETAYLARI

KOMBİNASYON 1

Örneklem Veri Seti

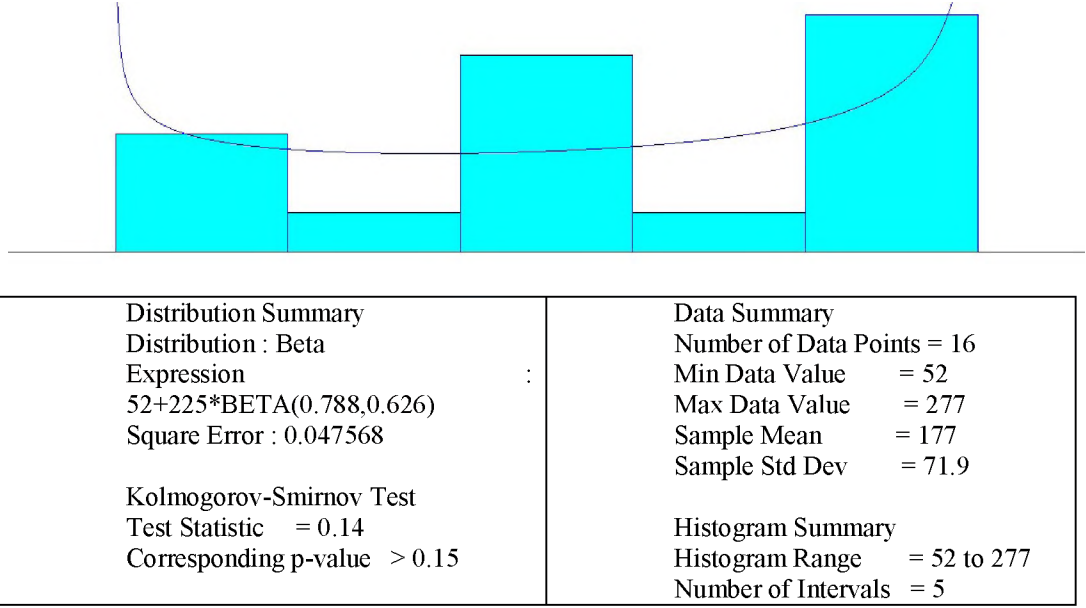
| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| 247 | 207 | 252 | 164 | 238 | 277 | 151 | 175 | 246 | 54 | 52 | 238 |
| 164 | 79 | 166 | 127 | | | | | | | | |

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 1 N = 16
Leaf Unit = 10

3 0 557
(6) 1 256667
7 2 0334457

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.24: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

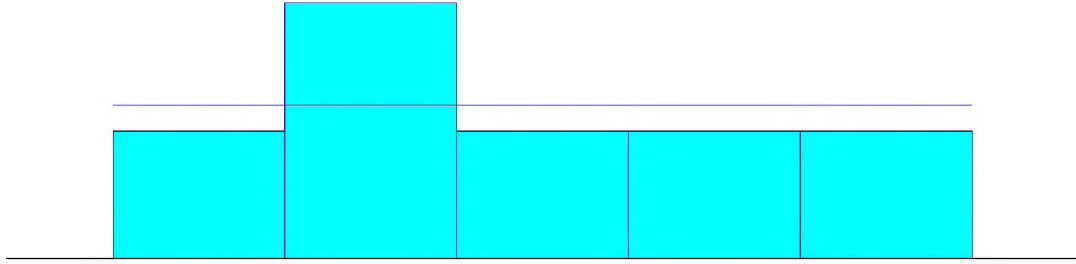
KOMBİNASYON 2

Veriler az sayıda ve birbirlerine yakın değerlerden oluştuğundan stem and leaf grafiği kullanılmamıştır.

Örneklem Veri Seti

| |
|-----------------------|
| 3 105 167 128 146 123 |
|-----------------------|

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|--|
| Distribution Summary Distribution: Uniform Expression : UNIF(105, 168) Square Error: 0.020912 | Histogram Summary Histogram Range = 105 to 168 Number of Intervals = 5 |
| Data Summary Number of Data Points = 6 Min Data Value = 105 Max Data Value = 167 Sample Mean = 134 Sample Std Dev = 21.1 | |

Şekil C.25: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 3

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 3321 | 339 | 408 | 504 | 165 | 237 | 621 | 772 | 286 | 355 | 183 | 1183 |
| 402 | 215 | 207 | 409 | 507 | 658 | 287 | 409 | 138 | 163 | 601 | 812 |
| 251 | 177 | 164 | 105 | 229 | 237 | 778 | 248 | 247 | 82 | 238 | 103 |
| 632 | 634 | 392 | 256 | 488 | | | | | | | |

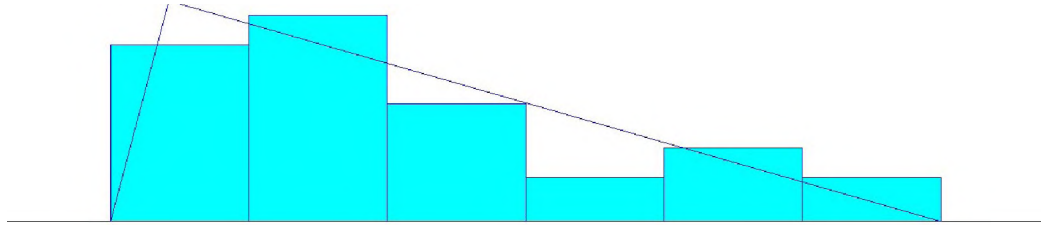
Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 3 N = 45
Leaf Unit = 10

```
1 0 8
5 1 0033
11 1 666788
21 2 0011233344
(4) 2 5588
20 3 23
18 3 59
16 4 00001
```

11 4 8
10 5 00
8 5
8 6 0233
4 6 5
HI 77; 77; 81

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Distribution Summary | Data Summary |
| Distribution: Triangular | Number of Data Points = 45 |
| Expression : TRIA(82, 133, 812) | Min Data Value = 82 |
| Square Error: 0.011604 | Max Data Value = 812 |
| Chi Square Test | Sample Mean = 342 |
| Number of intervals = 5 | Sample Std Dev = 197 |
| Degrees of freedom = 3 | Histogram Summary |
| Test Statistic = 3.88 | Histogram Range = 82 to 812 |
| Corresponding p-value = 0.282 | Number of Intervals = 6 |
| Kolmogorov-Smirnov Test | |
| Test Statistic = 0.135 | |
| Corresponding p-value > 0.15 | |

Şekil C.26: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

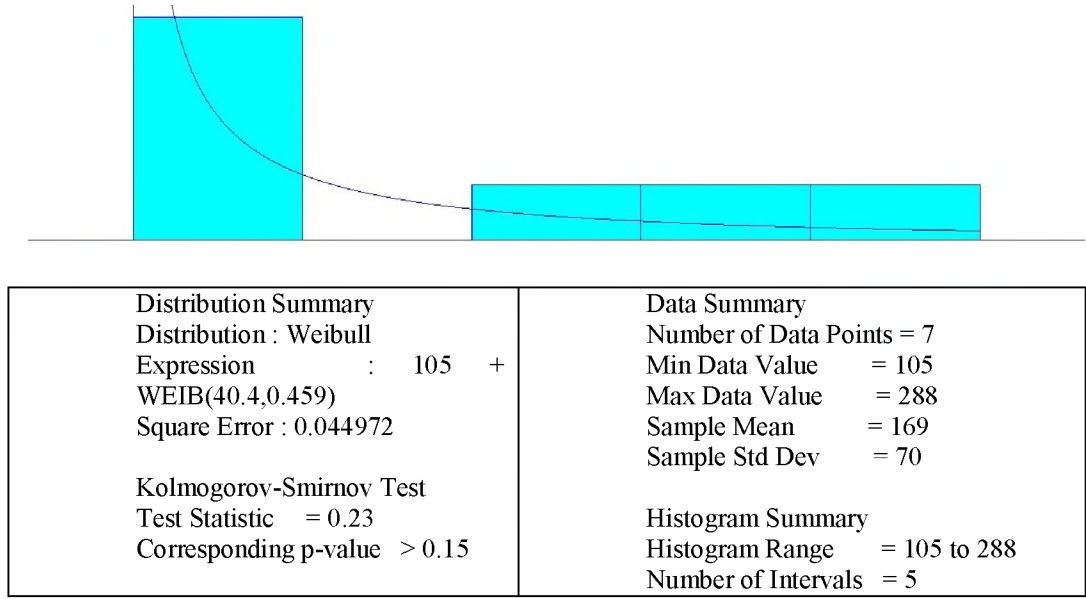
KOMBİNASYON 4

Veriler az sayıda olduğundan steam and leaf grafiği kullanılmamıştır.

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 226 | 105 | 132 | 125 | 108 | 288 | 199 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.27: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 5

Örneklem Veri Seti

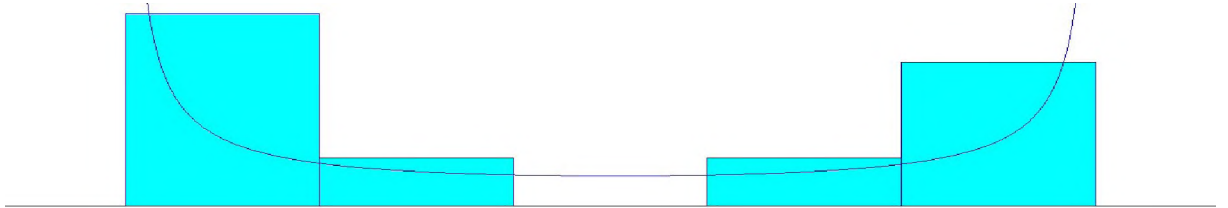
| | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|------|
| 414 | 578 | 601 | 1455 | 1296 | 3740 | 1202 | 401 | 652 | 1396 |
|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|------|

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 5-6 N = 10
Leaf Unit = 100

5 0 44566
5 1 2234
HI 37

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|--|
| <p>Distribution Summary Distribution: Beta Expression : $401+1.05e+003*BETA(0.221,0.235)$ Square Error: 0.218238</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.201 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 9 Min Data Value = 401 Max Data Value = $1.46e+003$ Sample Mean = 888 Sample Std Dev = 439</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 401 to $1.46e+003$ Number of Intervals = 5</p> |
|---|--|

Şekil C.28: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

EK C.15 Son İşlemler Atölyesi D555 Operasyonu için İşlem Sürelerine İlişkin Olasılık Dağılımları

D555 kodlu operasyon üzerinde etkili tasarım kriterlerinden güç, trafo tipi ve partideki üretim adedi işlem süreleri üzerinde asıl belirleyici faktörlerdir. Bunların haricinde aktif kısım boyu (KH), şalter tipi, toplam ağırlık, kullanılan izolatör sayısı, trafodaki kat sayısı, izolatör çıkış yerleri (yukarıdan veya yandan), AG'nin çift çıkışlı olması, sıkıştırma tipi (U profil, ağaç, çelik çember), trafonun hermetik mi yoksa genişleme depolu mu olduğu ve radyatör sayısı gibi pek çok tasarım parametresi de işlem sürelerine belirli oranlarda etki etmektedir. Ancak en başta belirtilen 3 faktör işlem süreleri üzerinde anlamlı bir değişime sebep olmaktadır. Bu faktörlerden trafonun gücü ve tipi (hermetik veya genişleme depolu), trafo boyutları ile doğrudan ilişkilidir. Trafo gücünün artması ve/veya trafonun genişleme depolu olması trafoya uygulanacak vakum süresini, trafoya basılacak yağ miktarını ve işlem sürelerini artırmaktadır. Emek yoğun bir operasyon olmasından dolayı, D555 operasyonu işlem sürelerinin tahmininde olasılık dağılımından yararlanılmıştır. Olasılık dağılımı hesabında faktörlerin seviyelerine göre bölümlenmeye gidilmiş ve deney tasarlanmıştır. Aşağıda verilen tabloda faktörler ve seviyeleri görülmektedir:

Tablo C.19: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri

| Faktör | Seviyeler | | |
|------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Güç | ≤ 630 | $630 < \text{Güç} \leq 4000$ | > 4000 |
| Trafo tipi | Hermetik | Genleşme Depolu | Anlamsız |
| Partideki Üretim Adedi | ≤ 10 (azsayıdaki işler) | > 10 (seri işler) | Anlamsız |

Tablo C.20'deki faktörler ve seviyeleri dikkate alındığında, toplam 12 farklı kombinasyon ortaya çıkmaktadır. Kombinasyon 4'de verilen tasarım üretilmeyen bir tasarımdır ve bu kombinasyonun olasılık dağılımı olarak en yakın diğer kombinasyon olan Kombinasyon 3'ün dağılımı girilmiştir. Aynı şekilde Kombinasyon 8'in olasılık dağılımı yerine en yakın kombinasyon olan Kombinasyon 7'nin olasılık dağılımı; Kombinasyon 9, 10, 12'nin yerine de Kombinasyon 11'in dağılımı girilmiştir.

Tablo C.20: Deney tasarımı

| Kombinasyon | Güç | Trafo Tipi | Partideki Üretim Adeti | Olasılık Dağılımları |
|-------------|-----------|------------|------------------------|----------------------------------|
| 1 | I. grup | I. grup | I. grup | TRIA(95, 143, 333) |
| 2 | I. grup | I. grup | II. grup | TRIA(64, 191, 209) |
| 3 | I. grup | II. grup | I. grup | UNIF(120, 407) |
| 4 | I. grup | II. grup | II. grup | UNIF(120, 407) * |
| 5 | II. grup | I. grup | I. grup | 83 + 459 * BETA(0.834, 1.25) |
| 6 | II. grup | I. grup | II. grup | TRIA(124, 192, 215) |
| 7 | II. grup | II. grup | I. grup | 112 + 682 * BETA(0.949, 1.31) |
| 8 | II. grup | II. grup | II. grup | 112 + 682 * BETA(0.949, 1.31) ** |
| 9 | III. grup | I. grup | I. grup | 415 + WEIB(59.6, 0.356) *** |
| 10 | III. grup | I. grup | II. grup | 415 + WEIB(59.6, 0.356) *** |
| 11 | III. grup | II. grup | I. grup | 415 + WEIB(59.6, 0.356) |
| 12 | III. grup | II. grup | II. grup | 415 + WEIB(59.6, 0.356) *** |

Kombinasyon 3'ün dağılımı; **Kombinasyon 7'nin dağılımı; *Kombinasyon 11'in dağılımı*

Yukarıda verilen olasılık dağılımları için ilgili veriler önce Minitab istatistiksel paket programında steam-and-leaf diyagramları kullanılarak analiz edildi. Analizde uç değerler program tarafından otomatik olarak ayıklatıldı. Buna rağmen istenmeyen veya arasında çok fazla boşluk olan veriler manuel olarak ayıklandıktan sonra geriye kalan veriler Arena Input Analyzer modülü kullanılarak analiz edildi ve hata karesi en düşük olan uygun olasılık dağılımı belirlendi. Yapılan analizlerin detayları ve belirlenen olasılık dağılımları aşağıdaki verilmiştir.

ANALİZ DETAYLARI

KOMBİNASYON 1

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 125 | 410 | 165 | 165 | 165 | 249 | 191 | 333 | 261 | 248 | 121 | 95 |
| 166 | 416 | 419 | | | | | | | | | |

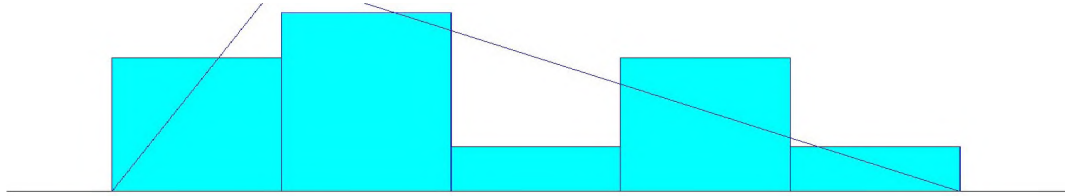
Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 1 N = 15

Leaf Unit = 10

1 0 9
3 1 22
(5) 1 66669
7 2 44
5 2 6
4 3 3
3 3
2 4 111

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|--|
| <p>Distribution Summary Distribution : Triangular Expression : TRIA(95, 143, 333) Square Error : 0.041967</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.2 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 12 Min Data Value = 95 Max Data Value = 333 Sample Mean = 190 Sample Std Dev = 69.3</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 95 to 333 Number of Intervals = 5</p> |
|---|--|

Şekil C.29: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

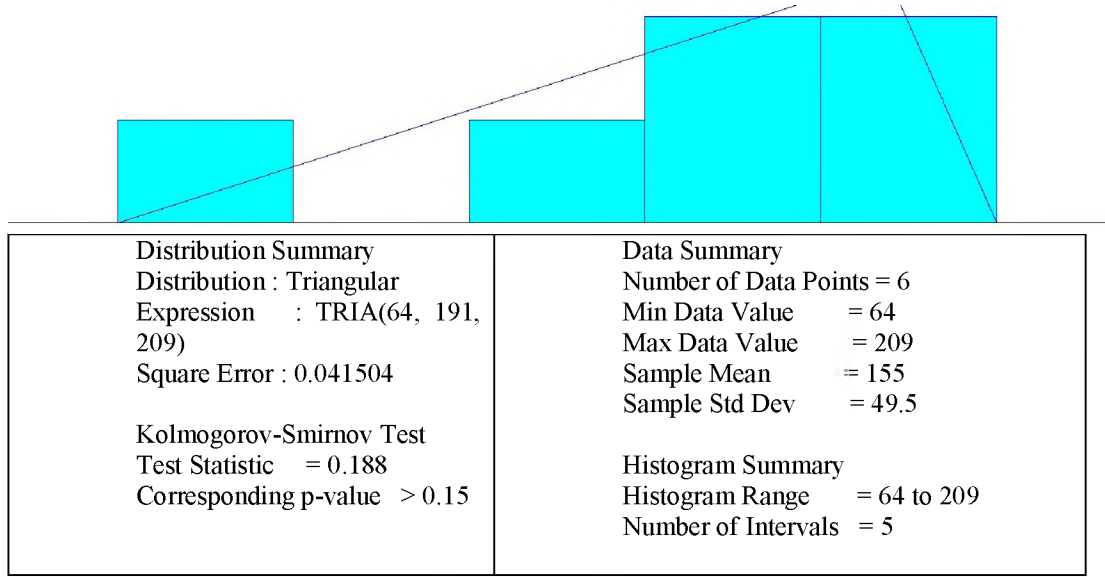
KOMBİNASYON 2

Veriler az sayıda olduğundan steam and leaf grafiği kullanılmamıştır.

Örneklem Veri Seti

| |
|------------------------|
| 181 209 169 143 162 64 |
|------------------------|

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.30: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

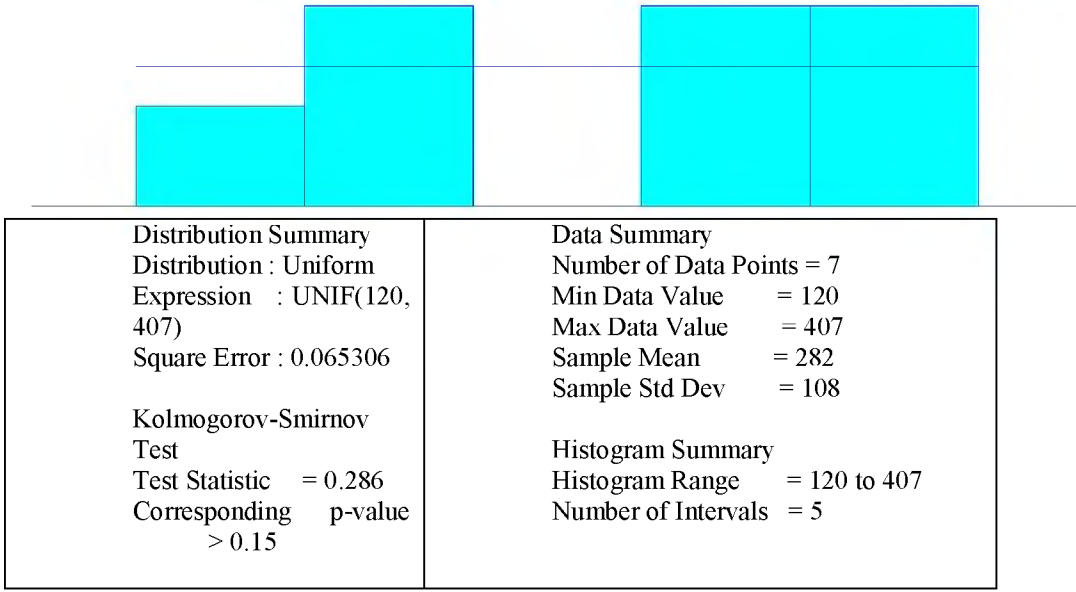
KOMBİNASYON 3

Veriler az sayıda olduğundan steam and leaf grafiği kullanılmamıştır.

Örneklem Veri Seti

| |
|-----------------------------|
| 316 120 407 407 209 307 210 |
|-----------------------------|

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.31: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 5

Örneklem Veri Seti

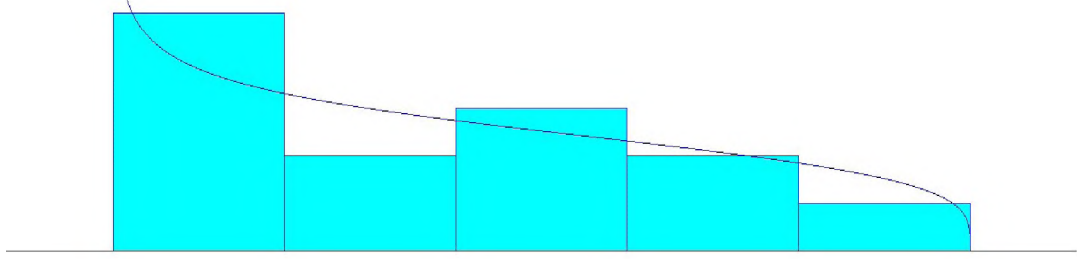
| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 218 | 225 | 136 | 143 | 212 | 126 | 171 | 518 | 152 | 306 | 165 | 413 |
| 312 | 332 | 232 | 331 | 165 | 332 | 130 | 167 | 268 | 83 | 542 | 419 |
| 414 | 415 | | | | | | | | | | |

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 5 N = 26
Leaf Unit = 10

```
1 0 8
5 1 2334
10 1 56667
(4) 2 1123
12 2 6
11 3 01333
6 3
6 4 1111
2 4
2 5 14
```

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|---|
| <p>Distribution Summary Distribution: Beta Expression : 83+459*BETA(0.834,1.25) Square Error: 0.012705</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 4 Degrees of freedom = 1 Test Statistic = 1.35 Corresponding p-value = 0.247 Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.136 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 26 Min Data Value = 83 Max Data Value = 542 Sample Mean = 266 Sample Std Dev = 128</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 83 to 542 Number of Intervals = 5</p> |
|---|---|

Şekil C.32: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

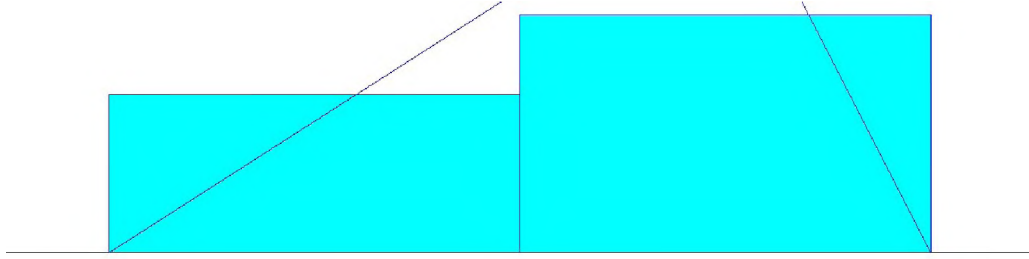
KOMBİNASYON 6

Veriler az sayıda olduğundan steam and leaf grafiği kullanılmamıştır.

Örneklem Veri Seti

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 207 | 158 | 124 | 191 | 214 |
|-----|-----|-----|-----|-----|

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|--|
| Distribution Summary Distribution : Triangular Expression : TRIA(124, 192, 215) Square Error : 0.007331 | Histogram Summary Histogram Range = 124 to 215 Number of Intervals = 2 |
| Data Summary Number of Data Points = 5 Min Data Value = 124 Max Data Value = 214 Sample Mean = 179 Sample Std Dev = 37.5 | |

Şekil C.33: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 7

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 465 | 1251 | 204 | 582 | 482 | 663 | 794 | 230 | 453 | 305 | 210 | 207 |
| | 112 | | | | | | | | | | |
| 204 | 620 | 409 | 414 | 414 | 408 | | | | | | |

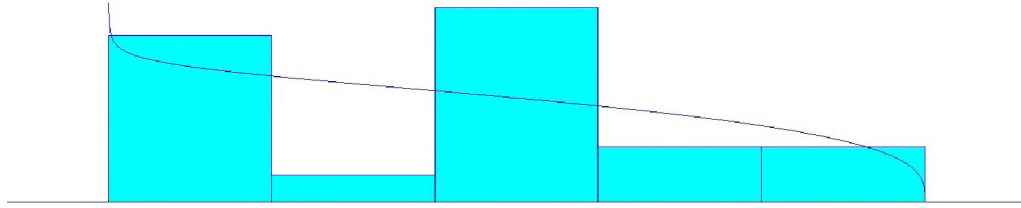
Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 7 N = 19

Leaf Unit = 10

1 1 1
6 2 00013
7 3 0
(7) 4 0011568
5 5 8
4 6 26
2 7 9
HI 125

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|---|
| <p>Distribution Summary Distribution : Beta Expression : 112+682*BETA(0.949,1.31) Square Error : 0.072970</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.164 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 18 Min Data Value = 112 Max Data Value = 794 Sample Mean = 399 Sample Std Dev = 186</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 112 to 794 Number of Intervals = 5</p> |
|---|---|

Şekil C.34: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

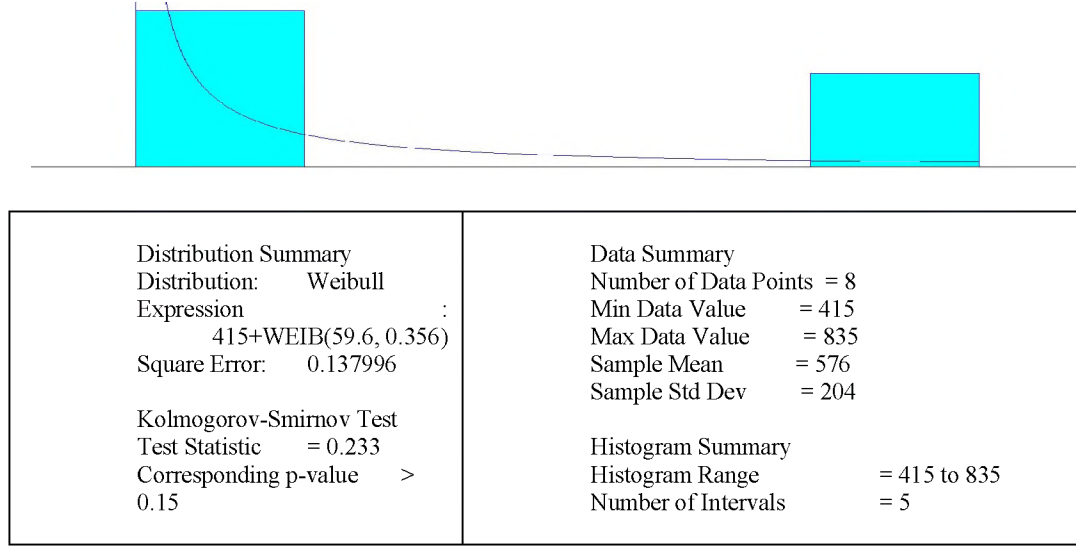
KOMBİNASYON 11

Veriler az sayıda olduğundan steam and leaf grafiği kullanılmamıştır.

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 805 | 476 | 417 | 419 | 825 | 418 | 415 | 835 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.35: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

EK C.16 Son İşlemler Atölyesi D560 Operasyonu için İşlem Sürelerine İlişkin Olasılık Dağılımları

D560 operasyonu üzerinde etkili tasarım kriterlerinden güç, partideki üretim adedi, spiralli tesisat olması ve toplam ağırlık işlem süreleri üzerinde asıl belirleyici faktörlerdir. Bunların haricinde kullanılan izolatör sayısı, trafodaki kat sayısı, aktif kısım boyu (KH), şalter tipi, trafonun hermetik mi yoksa genleşme depolu mu olduğu, aksesuar sayısı ve radyatör sayısı gibi pek çok tasarım parametresi de işlem sürelerine belirli oranlarda etki etmektedir. Ancak en başta belirtilen 4 faktör işlem süreleri üzerinde anlamlı bir değişime sebep olmaktadır. Gücün artması, spiralli tesisat olması ve toplam ağırlığın artması işlem süresini artırıcı yönde etki yapmaktadır. Partideki üretim adedinin artması ile birlikte; partideki her bir trafoya harcanan süre ilgili siparişin teknik detaylarını ve işi öğrenmeye bağlı olarak başlangıçta harcanan süreye göre git gide azalmaktadır. Dolayısıyla aynı tip trafo olsa dahi 1 adet için harcanan süre ile 10 adet trafo için harcanan süre doğrudan 10 katı olarak hesaplanmamakta; çok daha düşük olmaktadır. Emek yoğun çalışılan D560 operasyonu işlem sürelerinin tahmininde olasılık dağılımından yararlanılmıştır. Olasılık dağılımı hesabında faktörlerin seviyelerine göre bölümlenmeye gidilmiş ve bu amaçla tam faktöriyel tasarımdan yararlanılmıştır. Aşağıda verilen Tablo C.22’de faktörler ve seviyeleri görülmektedir:

Tablo C.21: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri

| Faktör | Seviyeler | | |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Güç | ≤ 630 | $630 < \text{Güç} \leq 4000$ | > 4000 |
| Partideki Üretim Adedi | ≤ 10 (az sayıdaki işler) | > 10 (seri işler) | Anlamsız |
| Spiralli Tesisat Olması | Spiralli Tesisat Değil | Spiralli Tesisat | Anlamsız |
| Toplam Ağırlık (ton) | ≤ 4 ton | $4 < \text{Ton} \leq 15$ | > 15 |

4 faktör için toplam 36 farklı kombinasyon ortaya çıkmaktadır. Oluşturulan deney tasarımı aşağıda Tablo 1.10’da verildiği gibidir:

Tablo C.22: Deney tasarımı

| Kombinasyon | Güç | Partideki Üretim Adedi | Spiralli Tesisat | Toplam Ağırlık | Olasılık Dağılımları |
|-------------|-----------|------------------------|------------------|----------------|---|
| 1 | I. grup | I. grup | I. grup | I. grup | UNIF(104, 268) |
| 2 | I. grup | I. grup | I. grup | II. grup | UNIF(104, 268) * |
| 3 | I. grup | I. grup | I. grup | III. grup | UNIF(104, 268) * |
| 4 | I. grup | I. grup | II. grup | I. grup | UNIF(104, 268) * |
| 5 | I. grup | I. grup | II. grup | II. grup | UNIF(104, 268) * |
| 6 | I. grup | I. grup | II. grup | III. grup | UNIF(104, 268) * |
| 7 | I. grup | II. grup | I. grup | I. grup | UNIF(90, 191) |
| 8 | I. grup | II. grup | I. grup | II. grup | UNIF(90, 191) ** |
| 9 | I. grup | II. grup | I. grup | III. grup | UNIF(90, 191) ** |
| 10 | I. grup | II. grup | II. grup | I. grup | UNIF(90, 191) ** |
| 11 | I. grup | II. grup | II. grup | II. grup | UNIF(90, 191) ** |
| 12 | I. grup | II. grup | II. grup | III. grup | UNIF(90, 191) ** |
| 13 | II. grup | I. grup | I. grup | I. grup | UNIF(105, 442) |
| 14 | II. grup | I. grup | I. grup | II. grup | 221 + 654 * BETA(0.445, 0.868) |
| 15 | II. grup | I. grup | I. grup | III. grup | 221 + 654 * BETA(0.445, 0.868) *** |
| 16 | II. grup | I. grup | II. grup | I. grup | UNIF(806, 1.93e+003) |
| 17 | II. grup | I. grup | II. grup | II. grup | UNIF(806, 1.93e+003) **** |
| 18 | II. grup | I. grup | II. grup | III. grup | UNIF(806, 1.93e+003) **** |
| 19 | II. grup | II. grup | I. grup | I. grup | TRIA(164, 173, 227) |
| 20 | II. grup | II. grup | I. grup | II. grup | 477 + WEIB(10.1, 0.266) |
| 21 | II. grup | II. grup | I. grup | III. grup | 477 + WEIB(10.1, 0.266) ***** |
| 22 | II. grup | II. grup | II. grup | I. grup | 477 + WEIB(10.1, 0.266) ***** |
| 23 | II. grup | II. grup | II. grup | II. grup | 477 + WEIB(10.1, 0.266) ***** |
| 24 | II. grup | II. grup | II. grup | III. grup | 477 + WEIB(10.1, 0.266) ***** |
| 25 | III. grup | I. grup | I. grup | I. grup | UNIF(973, 2.32e+003) ***** |
| 26 | III. grup | I. grup | I. grup | II. grup | UNIF(973, 2.32e+003) ***** |
| 27 | III. grup | I. grup | I. grup | III. grup | UNIF(973, 2.32e+003) ***** |
| 28 | III. grup | I. grup | II. grup | I. grup | UNIF(973, 2.32e+003) ***** |
| 29 | III. grup | I. grup | II. grup | II. grup | UNIF(973, 2.32e+003) |
| 30 | III. grup | I. grup | II. grup | III. grup | TRIA(1.87e+003, 2.96e+003, 3.37e+003) |
| 31 | III. grup | II. grup | I. grup | I. grup | TRIA(1.87e+003, 2.96e+003, 3.37e+003) ***** |
| 32 | III. grup | II. grup | I. grup | II. grup | TRIA(1.87e+003, 2.96e+003, 3.37e+003) ***** |
| 33 | III. grup | II. grup | I. grup | III. grup | TRIA(1.87e+003, 2.96e+003, 3.37e+003) ***** |
| 34 | III. grup | II. grup | II. grup | I. grup | TRIA(1.87e+003, 2.96e+003, 3.37e+003) ***** |
| 35 | III. grup | II. grup | II. grup | II. grup | TRIA(1.87e+003, 2.96e+003, 3.37e+003) ***** |
| 36 | III. grup | II. grup | II. grup | III. grup | TRIA(1.87e+003, 2.96e+003, 3.37e+003) ***** |

*Kombinasyon 1'in dağılımı; **Kombinasyon 7'nin dağılımı; ***Kombinasyon 14'ün dağılımı; ****Kombinasyon 16'nun dağılımı

*****Kombinasyon 20'nun dağılımı; *****Kombinasyon 29'un dağılımı; *****Kombinasyon 30'un dağılımı

Kombinasyon 2-6'da verilen teknik özellik kombinasyonlarında trafo üretilmemektedir. Ancak simülasyon modelinde tüm karar durumlarına yer verilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu kombinasyon grubunun olasılık dağılımı en yakın grup olan Kombinasyon 1'in olasılık dağılımı olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde

Kombinasyon 8-12'de üretilen trafo tiplerinden değildir ve aynı gerekçe ile bu gruptaki trafo kombinasyonlarının olasılık dağılımı en yakın tip olan kombinasyon 7'nin olasılık dağılımı olarak belirlenmiştir. Aynı gerekçe ile yapılan benzer varsayımlar Tablo C.23'ün altında dipnot olarak belirtilmiştir.

Yukarıda verilen olasılık dağılımları için ilgili veriler önce Minitab istatistiksel paket programında stem-and-leaf diyagramları kullanılarak analiz edildi. Analizde uç değerler program tarafından otomatik olarak ayıklanmış; buna rağmen istenmeyen veya veri kümesinin merkezi eğiliminden çok uzakta bulunan gözlem değerleri manuel olarak ayıklandıktan sonra geriye kalan veriler Arena Input Analyzer modülü kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonunda hata karesi en düşük olan uygun olasılık dağılımı belirlenmiştir. Yapılan analizler ve belirlenen olasılık dağılımları aşağıda verilmiştir.

ANALİZ DETAYLARI

KOMBİNASYON 1

Örneklem Veri Seti

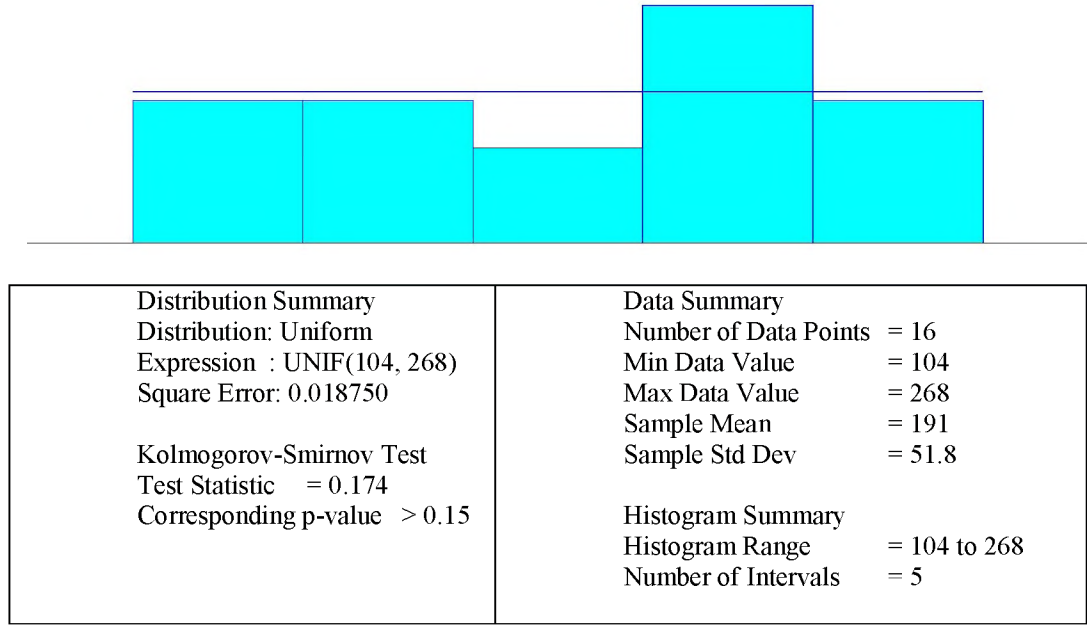
| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 268 | 206 | 119 | 194 | 128 | 226 | 244 | 227 | 159 | 148 | 202 | 210 |
| 268 | 104 | 210 | 142 | | | | | | | | |

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 1 N = 16
Leaf Unit = 10

```
2 1 01
3 1 2
6 1 445
6 1
7 1 9
(4) 2 0011
5 2 22
3 2 4
2 2 66
```


Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



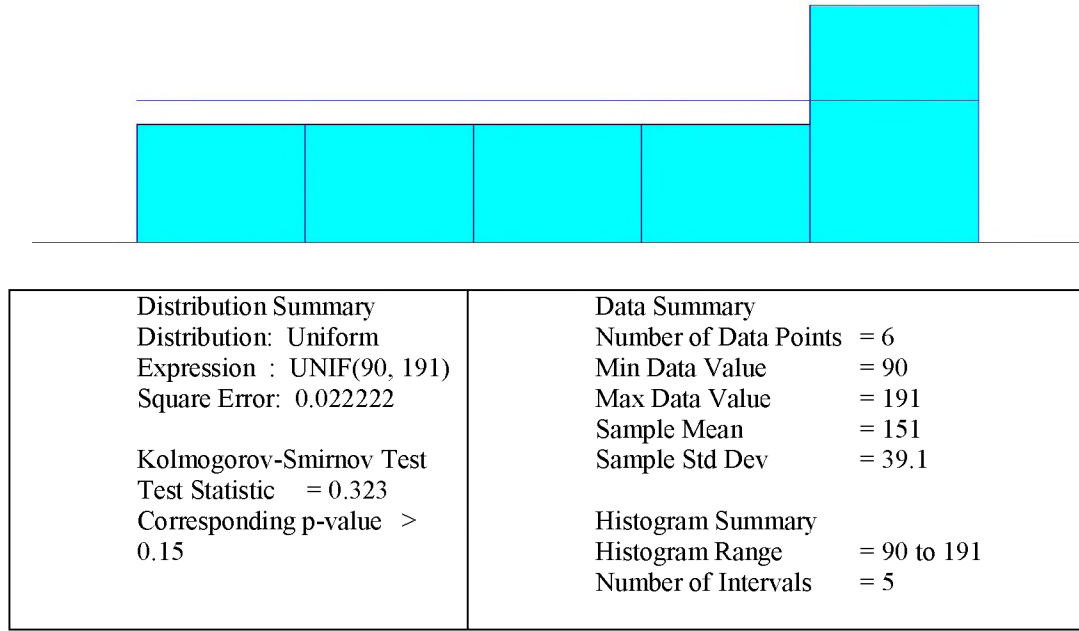
Şekil C.36: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 7

Örneklem Veri Seti

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 190 | 164 | 191 | 128 | 140 | 90 |
|-----|-----|-----|-----|-----|----|

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.37: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 13

Örnekleme Veri Seti

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 442 | 305 | 230 | 339 | 330 | 325 | 108 | 105 | 362 | 377 | 257 | 155 |
| 283 | 423 | 676 | 210 | | | | | | | | |

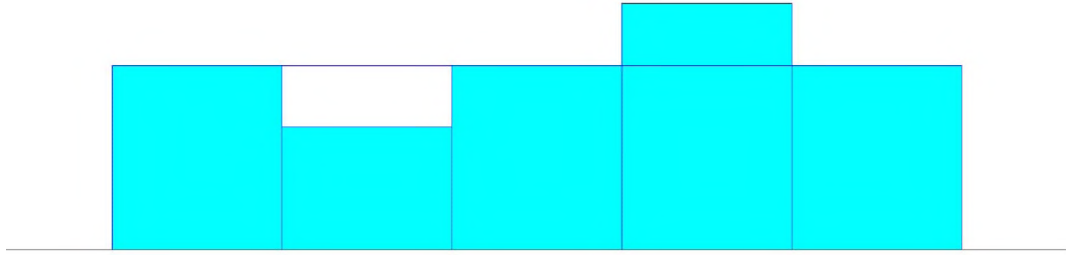
Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 13 N = 16

Leaf Unit = 10

2 1 00
3 1 5
5 2 13
7 2 58
(4) 3 0233
5 3 67
3 4 24
HI 67

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|---|
| <p>Distribution Summary Distribution: Uniform Expression : UNIF(105, 442) Square Error: 0.008889 Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.128 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 15 Min Data Value = 105 Max Data Value = 442 Sample Mean = 283 Sample Std Dev = 105</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 105 to 442 Number of Intervals = 5</p> |
|---|---|

Şekil C.38: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 14

Örneklem Veri Seti

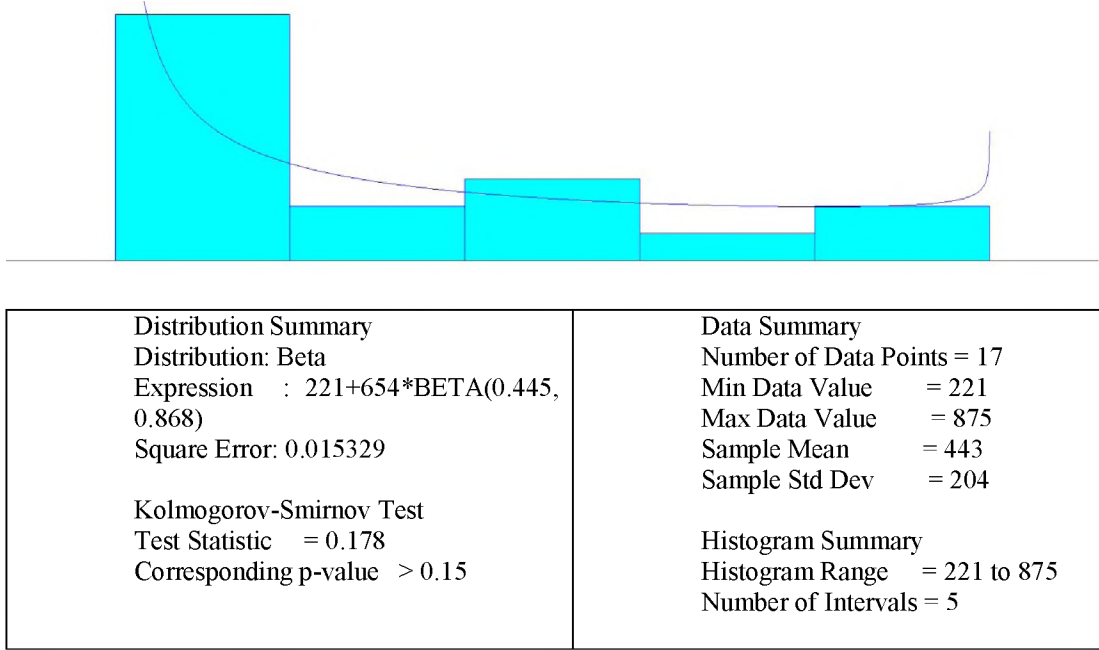
| | | | | | | | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 875 | 1222 | 658 | 395 | 320 | 224 | 304 | 273 | 609 | 537 | 349 | 281 |
| 326 | 336 | 557 | 419 | 221 | 839 | 1710 | | | | | |

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 14 N = 19
Leaf Unit = 10

4 2 2278
(6) 3 022349
9 4 1
8 5 35
6 6 05
4 7
4 8 37
HI 122; 171

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.39: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

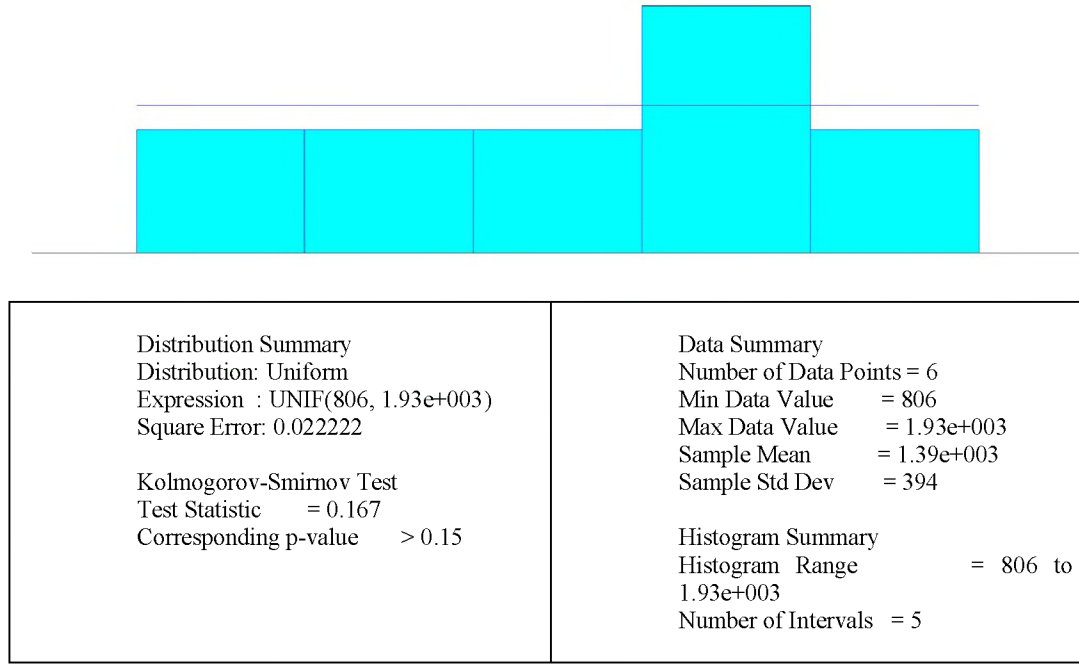
KOMBİNASYON 16

Veriler az sayıda olduğundan steam and leaf grafiği kullanılmamıştır.

Örneklem Veri Seti

| |
|------------------------------|
| 1114 1530 1346 806 1617 1925 |
|------------------------------|

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.40: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

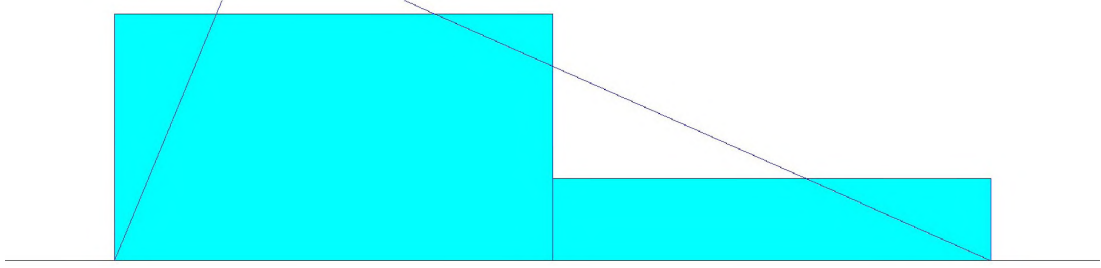
KOMBİNASYON 19

Örneklem Veri Seti

Veriler az sayıda olduğundan steam and leaf grafiği kullanılmamıştır.

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 176 | 185 | 164 | 226 |
|-----|-----|-----|-----|

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|---|
| <p>Distribution Summary Distribution: Triangular Expression : TRIA(164, 173, 227) Square Error: 0.002659</p> <p>Data Summary Number of Data Points = 4 Min Data Value = 164 Max Data Value = 226 Sample Mean = 188 Sample Std Dev = 26.9</p> | <p>Histogram Summary Histogram Range = 164 to 227 Number of Intervals = 2</p> |
|--|---|

Şekil C.41: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

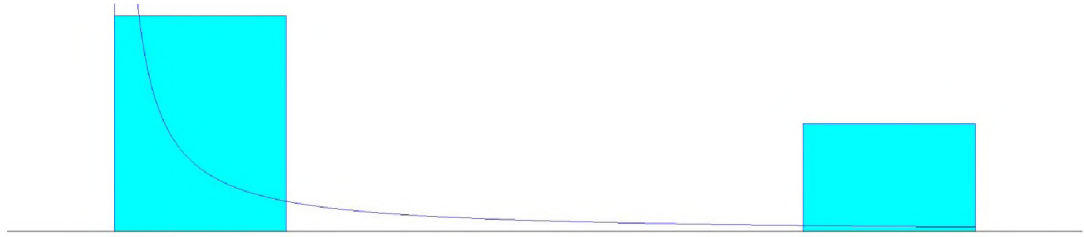
KOMBİNASYON 20

Örneklem Veri Seti

Veriler az sayıda olduğundan steam and leaf grafiği kullanılmamıştır.

| |
|-------------|
| 477 483 625 |
|-------------|

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|---|
| Distribution Summary Distribution: Weibull Expression : 477+WEIB(10.1,0.266) Square Error: 0.110890 Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.251 Corresponding p-value > 0.15 | Data Summary Number of Data Points = 3 Min Data Value = 477 Max Data Value = 625 Sample Mean = 528 Sample Std Dev = 83.8 Histogram Summary Histogram Range = 477 to 625 Number of Intervals = 5 |
|--|---|

Şekil C.42: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

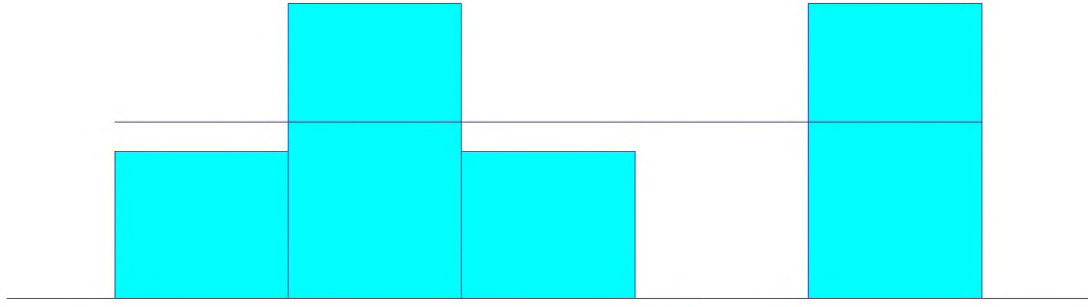
KOMBİNASYON 29

Örneklem Veri Seti

Veriler az sayıda olduğundan steam and leaf grafiği kullanılmamıştır.

| |
|------------------------------|
| 973 1540 1444 2323 2311 1438 |
|------------------------------|

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|--|
| <p>Distribution Summary Distribution: Uniform Expression: UNIF(973, 2.32e+003) Square Error: 0.077778</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.324 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 6 Min Data Value = 973 Max Data Value = 2.32e+003 Sample Mean = 1.67e+003 Sample Std Dev = 538</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 973 to 2.32e+003 Number of Intervals = 5</p> |
|---|--|

Şekil C.43: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

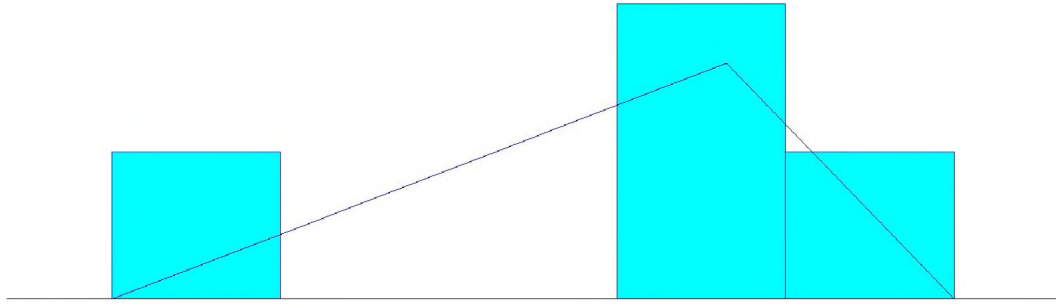
KOMBİNASYON 30

Örneklem Veri Seti

Veriler az sayıda olduğundan steam and leaf grafiği kullanılmamıştır.

1873 2849 3367 2848

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|--|
| <p>Distribution Summary Distribution: Triangular Expression : TRIA(1.87e+003, 2.96e+003, 3.37e+003) Square Error: 0.170760</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.334 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 4 Min Data Value = 1.87e+003 Max Data Value = 3.37e+003 Sample Mean = 2.73e+003 Sample Std Dev = 624</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 1.87e+003 to 3.37e+003 Number of Intervals = 5</p> |
|--|--|

Şekil C.44: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

EK C.17 Son İşlemler Atölyesi D580 Operasyonu için İşlem Sürelerine İlişkin Olasılık Dağılımları

D580 operasyonu üzerinde etkili tasarım kriterlerinden güç ve trafo tipi (hermetik veya genişleme depolu) işlem süreleri üzerinde asıl belirleyici faktörlerdir. Bunların haricinde kullanılan izolatör sayısı, trafodaki kat sayısı, AG bağlantılarının lama veya örgülü bakır olması, AG'nin çift çıkışlı olması, sıkıştırma tipi (U Profil, Ağaç, Çelik Çember), aktif kısım boyu (KH), şalter tipi, toplam ağırlık, aksesuar sayısı, tesisatın spiralli olması ve radyatör sayısı gibi pek çok tasarım parametresi de işlem sürelerine belirli oranlarda etki etmektedir. Ancak en başta belirtilen 2 faktör işlem süreleri üzerinde anlamlı bir değişime sebep olmaktadır. Trafo gücünün artması ve trafonun genişleme depolu olması trafo ebatlarında büyümeye sebep olacağından boyanacak alanları artırmaktadır. Emek yoğun olan D580 operasyonu işlem sürelerinin tahmininde olasılık dağılımından yararlanılmıştır. Olasılık dağılımı hesabında faktörlerin seviyelerine göre bölümlenmeye gidilmiş ve bu amaçla faktöriyel tasarımdan yararlanılmıştır. Aşağıda verilen tabloda faktörler ve seviyeleri görülmektedir:

Tablo C.23: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri

| Faktör | Seviyeler | | |
|-------------------|------------------|------------------------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Güç | ≤ 630 | $630 < \text{Güç} \leq 4000$ | > 4000 |
| Trafo tipi | Hermetik | Genişleme Depolu | Anlamsız |

2 ve 3 seviyeli 2 faktör için toplam 6 farklı kombinasyon ortaya çıkmaktadır.

Tablo C.24: Deney tasarımı

| Kombinasyon | Güç | Trafo Tipi | Olasılık Dağılımları |
|-------------|-----------|------------|----------------------|
| 1 | I. grup | I. grup | UNIF(39.5, 113) |
| 2 | I. grup | II. grup | 134 + EXPO(113) |
| 3 | II. grup | I. grup | 70 + EXPO(49.9) |
| 4 | II. grup | II. grup | UNIF(67, 273) |
| 5 | III. grup | I. grup | NORM(417, 56.5)* |
| 6 | III. grup | II. grup | NORM(417, 56.5) |

**Kombinasyon 6'nın dağılımı*

Trafo gücü 3150 kVA'dan büyük olduğu durumda hermetik trafo üretilmemektedir. Bu nedenle Kombinasyon 5'de verilen tipte trafo üretimi yapılamamaktadır. Ancak simülasyon modelinde yer alan karar ağacında bu değer boş kalmaması için en yakın trafo grubu olan kombinasyon 6'nın olasılık değeri Kombinasyon 5 içinde kullanılmıştır.

Yukarıda verilen olasılık dağılımlarını hesaplamadan önce her bir kombinasyon için ilgili veriler önce Minitab istatistiksel paket programında steam-and-leaf diyagramları kullanılarak analiz edilmiş ve analizde uç değerler Minitab programı tarafından otomatik olarak ayıklattıldı. Buna rağmen istenmeyen veya arasında çok fazla boşluk olan veriler manuel olarak ayıklandıktan sonra geriye kalan veriler Arena Input Analyzer modülü kullanılarak analiz edilmiştir. Hata karesi en düşük olan olasılık dağılımı en uygun olasılık dağılımı olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler ve belirlenen olasılık dağılımları aşağıda ilgili başlıklarda sırasıyla verilmiştir.

ANALİZ DETAYLARI

KOMBİNASYON 1

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | | | | |
|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| 93 | 100 | 42 | 67 | 87 | 57 | 53 | 77 | 99 | 112 | 40 |
|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 1 N = 11
Leaf Unit = 1,0

1 3 9
2 4 1

4 5 37
 5 6 6
 (1) 7 7
 5 8 7
 4 9 38
 2 10 0
 1 11 2

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|---|
| Distribution Summary Distribution: Uniform Expression: UNIF(39.5, 113) Square Error: 0.004805 Data Summary Number of Data Points = 11 Min Data Value = 40 Max Data Value = 112 Sample Mean = 75.2 Sample Std Dev = 25 | Histogram Summary Histogram Range = 39.5 to 113 Number of Intervals = 3 |
|---|---|

Şekil C.45: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 2

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 238 | 863 | 413 | 243 | 476 | 207 | 596 | 205 | 245 | 134 | 198 | 160 |
| 194 | | | | | | | | | | | |

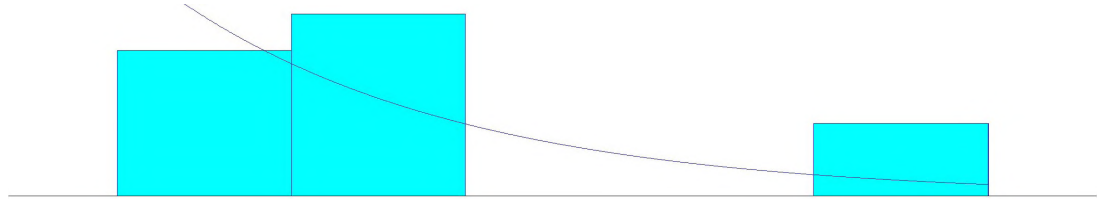
Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 2 N = 13
 Leaf Unit = 10

1 1 3
 4 1 599
 (5) 2 00344
 4 2
 4 3

4 3
 4 4 1
 3 4 7
 2 5
 2 5 9
 HI 86

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|---|
| Distribution Summary Distribution: Exponential Expression: $134 + \text{EXPO}(113)$ Square Error: 0.094799 Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.231 Corresponding p-value > 0.15 | Data Summary Number of Data Points = 11 Min Data Value = 134 Max Data Value = 476 Sample Mean = 247 Sample Std Dev = 104 Histogram Summary Histogram Range = 134 to 476 Number of Intervals = 5 |
|--|---|

Şekil C.46: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 3

Örneklem Veri Seti

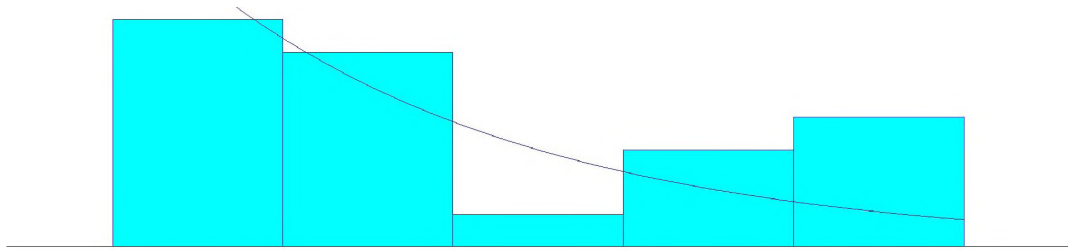
| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 123 | 178 | 102 | 15 | 197 | 80 | 76 | 162 | 104 | 70 | 113 | 149 |
| 173 | 73 | 113 | 78 | 99 | 193 | 95 | 98 | 82 | 809 | 489 | 159 |

Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 3 N = 24
 Leaf Unit = 10

1 0 1
 1 0
 1 0
 6 0 77777
 10 0 8999
 (4) 1 0011
 10 1 2
 9 1 45
 7 1 677
 4 1 99
 HI 48; 80

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|---|---|
| <p>Distribution Summary Distribution: Exponential Expression : $70 + \text{EXPO}(49.9)$ Square Error: 0.038087</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 3 Degrees of freedom = 1 Test Statistic = 1.13 Corresponding p-value = 0.306</p> <p>Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.128 Corresponding p-value > 0.15</p> | <p>Data Summary Number of Data Points = 21 Min Data Value = 70 Max Data Value = 197 Sample Mean = 120 Sample Std Dev = 42</p> <p>Histogram Summary Histogram Range = 70 to 197 Number of Intervals = 5</p> |
|---|---|

Şekil C.47: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

KOMBİNASYON 4

Örneklem Veri Seti

| | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|----|
| 242 | 208 | 246 | 168 | 203 | 273 | 72 | 76 | 120 | 245 | 67 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|----|

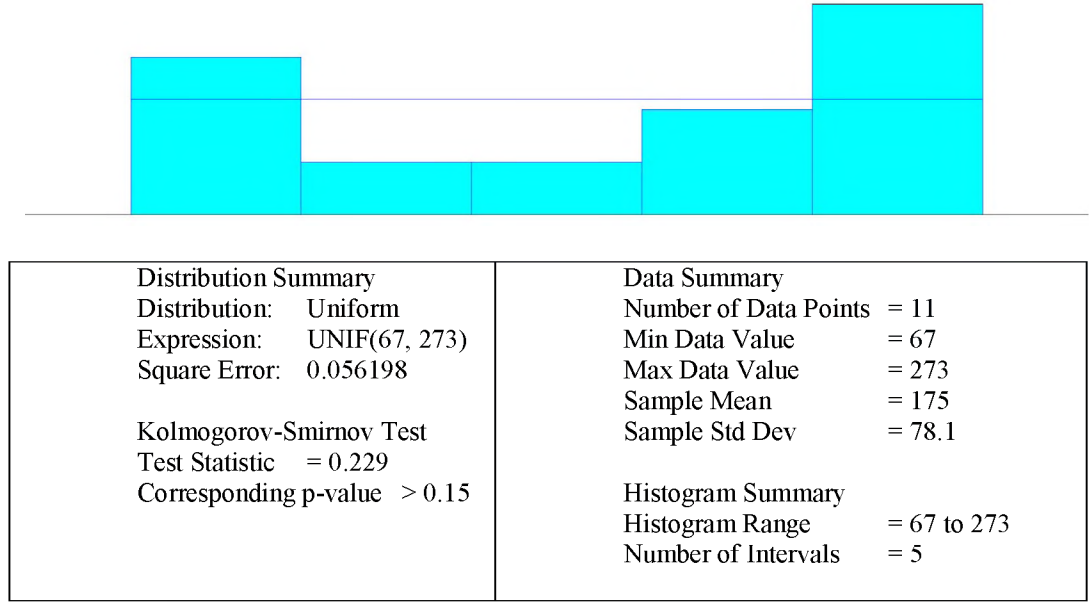
Minitab Analizi

Stem-and-leaf of Kombinasyon 4 N = 11
 Leaf Unit = 10

```

3 0 677
4 1 2
5 1 6
(5) 2 00444
1 2 7
  
```

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



Şekil C.48: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

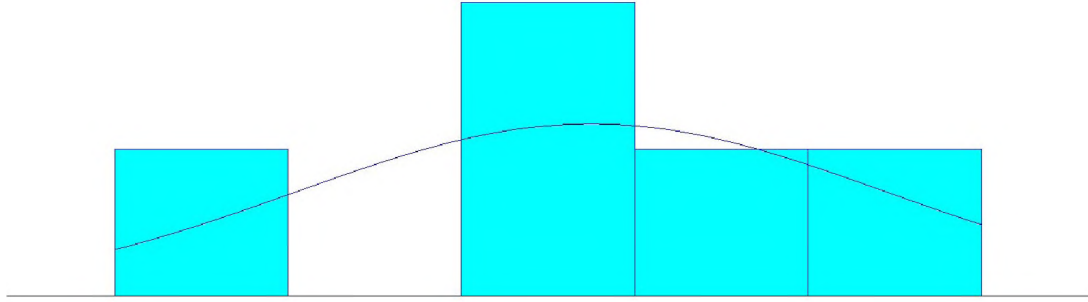
KOMBİNASYON 6

Örneklem Veri Seti

Veriler az sayıda ve birbirlerine yakın değerlerden oluştuğundan stem and leaf grafiği kullanılmamıştır.

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 458 | 326 | 399 | 492 | 411 |
|-----|-----|-----|-----|-----|

Arena Input Analyzer ile Girdi Analizi



| | |
|--|---|
| Distribution Summary Distribution: Normal Expression : NORM(417, 56.5) Square Error: 0.075146 | Data Summary Number of Data Points = 5 Min Data Value = 326 Max Data Value = 492 Sample Mean = 417 Sample Std Dev = 63.1 |
| Kolmogorov-Smirnov Test Test Statistic = 0.2 Corresponding p-value > 0.15 | Histogram Summary Histogram Range = 326 to 492 Number of Intervals = 5 |

Şekil C. 49: Arena Input Analyzer ile girdi analizi

EK D : VISUAL STUDIO ile Firmaya Özgü Yazılım Geliştirme

EK D.1 – Ara Yüz Yazılımına Ait Menüler

Ana Ekran



Resim D.1: Program açılış ekran görüntüsü

Program açıldığının kullanıcının karşılaştığı ilk ekrandır. Bu alanda kullanıcı gerçekleştireceği eyleme göre seçim yaparak ilgili ekranları çağırılmaktadır.

Yeni Sipariş Giriş Ekranı

Kullanıcı ana ekrandan “Yeni Sipariş Denetimi” butonuna tıkladığında karşılaşılan ekrandır. Bu bölümde daha önceden “Microsoft Office Excel” çalışma kitaplarında

saklanan verilerin bir ön izlemesi görülmektedir. İşlem süresi hesaplanmak istenen projeye ait bilgiler ilgili alanlara doldurulur. Kademe sayısı seçimi de tamamlandıktan sonra 2. veri giriş ekranı olan “Kademe Değerleri Giriş Ekranı” açılmalıdır. “Kademe Değerleri Gir” butonuna tıklanır ve ilgili ekran görüntülenir.

| Mevcut Üretimde Olan Transformatörler | | | | |
|---------------------------------------|---------|--------|----------|----------------------------|
| 1174 | 2002231 | 50 KVA | 33/0.4KV | YEDAŞ/2013 YATIRIM PROJESİ |
| 1254 | 2002231 | 50 KVA | 33/0.4KV | YEDAŞ/2013 YATIRIM PROJESİ |
| 1146 | 2002493 | 50 KVA | 33/0.4KV | 2014 DT STOK 53469 |
| 1023 | 2002564 | 50 KVA | 33/0.4KV | 2014 DT STOK 53470 |
| 1625 | 2002568 | 50 KVA | 33/0.4KV | 2014 DT STOK 53471 |

Resim D.2: Mevcut sipariş listesi

“Kademe Değerleri Giriş Ekranı” bölümünde bir önceki “Yeni Sipariş Giriş Ekranı” içerisinde belirlenmiş olan kademe sayısı değeri kadar kadem sekmesi görüntülenir. Her kademe için “Kademe Genişliği(mm), Kademe Ağırlığı (kg), Kademe Sac Adedi” değerleri doldurulduktan sonra çıkış butonuna basılır ve “Yeni Sipariş Ekranı” tekrar görüntülenir. “Yeni Sipariş Ekranı” içerisindeki “>>” butonuna tıklandığında sipariş listeye eklenmiş olur.

Kademe Değerleri Giriş Ekranı

Kademe 1

Kademe 2

Kademe 3

Kademe 4

Kademe 5

Kademe 6

Kademe 2

Kademe Genişliği (mm) : 160

Kademe Ağırlığı (kg) : 35

Kademe Sac Adedi : 205

Kesit C-C

A_{sk}

261

Kesit D-D

140

75

70

A.G

Y.G

Resim D.3: Kademe parametreleri değer giriş ekranı

Yeni Sipariş Giriş Ekranı

BALIKESİR ELEKTROMEKANİK SANAYİ TESİSLERİ A.Ş. (BEST)

Mevcut Üretimde Olan Transformatörler

Müşteri Adı : AL MASHARIQ

Proje No : 1380

Kalem Kodu : 2001350

Güç (kVA) : 1000 kVA

Gerilim (kV) : 33 kV >>

Sac Cinsi : NV27S 0,27

Çekirdek Çapı (mm) : 120

Kademe Sayısı : 6

Kademe Değerleri Gir

Hesapla

| | | | | |
|------|-------------|----------|----------|----------------------------|
| 1174 | 2002231 | 50 KVA | 33/0.4KV | YEDAŞ/2013 YATIRIM PROJESİ |
| 1254 | 2002231 | 50 KVA | 33/0.4KV | YEDAŞ/2013 YATIRIM PROJESİ |
| 1146 | 2002493 | 50 KVA | 33/0.4KV | 2014 DT STOK 53469 |
| 1023 | 2002564 | 50 KVA | 33/0.4KV | 2014 DT STOK 53470 |
| 1625 | 2002568 | 50 KVA | 33/0.4KV | 2014 DT STOK 53471 |
| 1380 | AL MASHARIQ | 1000 kVA | 33 kV | 2001350 |

Resim D.4: Parametre girişi sonrası arayüz görüntüsü

Verilerin aktarımı tamamlandıktan sonra “Hesapla” butonuna tıklanır.

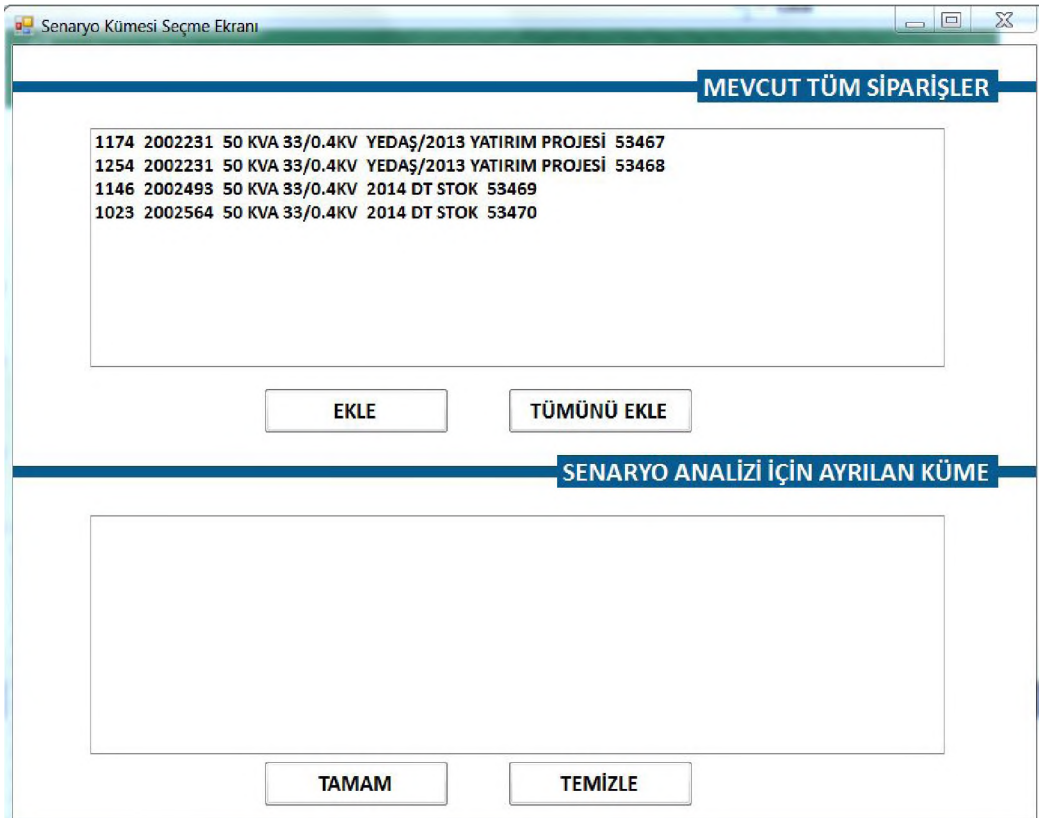
Sonuç Ekranı



Resim D.5: Sonuç ekranı

Hesaplama işlemi tamamlandıktan sonra “Sonuç Ekranı” açılır. Bu alanda istatistiksel güven aralığı hesaplama yöntemleri kullanılarak elde edilmiş çözümler ve replikasyon sonuçlarının histogram grafiği bulunmaktadır.

Senaryo Kümesi Seçim Ekranı



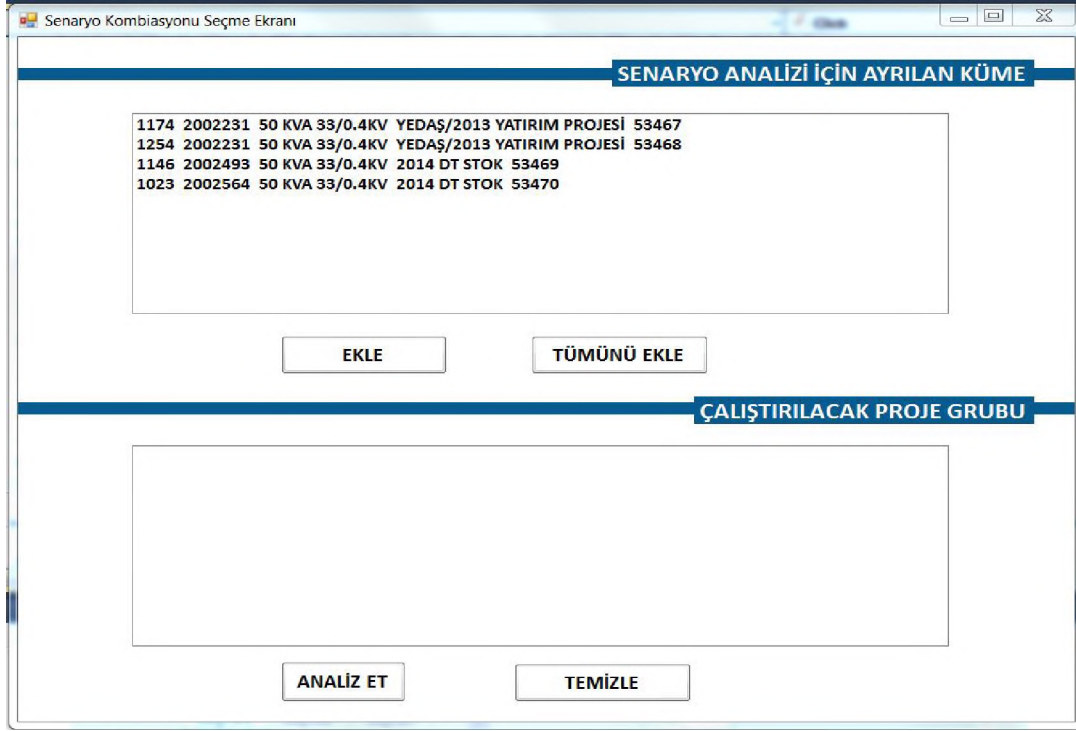
Resim D.6: Senaryo analizi veri kümesi seçim ekranı

Kullanıcı ana ekrandan “Senaryo Analizleri” butonuna tıkladığında karşılaşılan ekrandır. Bu bölümde daha önceden “Microsoft Office Excel” çalışma kitaplarında saklanan verilerin bir ön izlemesi görülmektedir. ”Ekle” butonu yardımıyla senaryo kümesi kullanıcı tarafından oluşturulur ve “Tamam” butonuna tıklanır.

Senaryo Kombinasyonu Seçme Ekranı

Bu bölümde bir önceki ekranda kullanıcının belirlediği küme görüntülenir. Analiz edilecek kombinasyonun kullanıcı tarafından manuel olarak seçilmesinin ardından “ANALİZ ET” butonuna

Bu bölümde bir önceki ekranda kullanıcının belirlediği küme görüntülenir. Analiz edilecek kombinasyonun kullanıcı tarafından manuel olarak seçilmesinin ardından “ANALİZ ET” butonuna



Resim D.7: Senaryo analizi seçilmiş veri kümesi listesi

Senaryo Sonuçları

Hesaplama tamamlandıktan sonra daha önce analiz edilmiş senaryo kombinasyonları ve sonuçları ve yeni kombinasyon sonuçları listelenir.

| Senaryo Kombinasyonu | %95 Güven Aralığında Ortalama Tamamlanma Süresi | |
|----------------------|---|---------|
| | En Uzun | En Kısa |
| 1174,1136,1251 | 35 | 33 |
| 1251,1174,1136 | 32 | 30 |
| 1174,1136 | 21 | 18 |

Resim D.8: Senaryo analizi sonuç listesi