

CAT6 Yerel Ağ Bağlantısı Kablolarının (LAN) Üretim Parametrelerinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu

Selim Hartomacıoğlu^{1,*}, Kamil Mutlu², Kerem Dizman², Dilek Dağdelen², Sibel Çalışkan²

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İstanbul, Türkiye

²Nexans Türkiye End. Tic. A.Ş., Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 15.07.2024

Kabul: 30.09.2024

Anahtar Kelimeler:

LAN kablosu

Optimizasyon

Kablo üretimi

ÖZET

Yerel Ağ Bağlantısı (Local Area Network), Endüstri 4.0 dijitalleşen dünyada hızla kullanımı artan bir bağlantı türüdür. Bu bağlantı türünde kullanılan kabloların üretiminde kalite karakteristikleri ürünün kullanımı aşamasında önemli parametrelerdir. Yapılan bu çalışmada, CAT 6 kablosunun üretim hattına yönelik bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Optimizasyon çalışmasında hat hızı, tavlama akımı ve ısı profilleri giriş parametresi olarak, çekme mukavemeti ve % uzama ise çıkış parametresi olarak kullanılmıştır. Bakır çapı, kapasite ve damar çapı üretim esnasında online olarak ölçülmüş, çekme testi işlemi ise üretim sonrası numuneler üzerinden gerçekleştirilmiş ve standart içinde olduğu tespit edilmiştir. Yapılan Taguchi optimizasyonu işleminde, çekme mukavemeti açısından incelendiği zaman hat hızının etkisinin çok fazla olduğu, sonrasında ısı profillerinin ve en düşük etkiye ise tavlama akımının olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak hat hızının mevcut kullanımının 800 m/dak hızdan 900 m/dak hıza çıkartılmasının üretim hızında %5.8'lik bir artış sağlayacağı, yıllık seri üretim açısından bakıldığında zaman üretim kapasitesi arttırımı için çok önemli bir avantaj sağlayacağı tespit edilmiştir.

Production Parameters' Optimization of CAT6 Local Area Network (LAN) Cables with Taguchi Method

ARTICLE INFO

Received: 15.07.2024

Accepted: 30.09.2024

Keywords:

LAN cable

Optimization

Cable production

ABSTRACT

Local Area Network (LAN) is connection type that is rapidly increasing in use in the Industry 4.0 digitalized world. Quality characteristics of the cables used in this connection type are important parameters in the production of the product during the use phase. In this study, an optimization study was conducted for the production line of CAT 6 cable. In the optimization study, line speed, annealing current and heat profiles were used as input parameters, and tensile strength and % elongation were used as output parameters. Copper diameter, capacity and core diameter were measured online during production, and the tensile test process was performed on samples after production and it was determined that it was within the standard. In the Taguchi optimization process, it was determined that the effect of the line speed was very high when examined in terms of tensile strength, followed by heat profiles and the annealing current had the lowest effect. As a result, it has been determined that increasing the current line speed from 800 m/min to 900 m/min will provide a 5.8% increase in production speed, and will provide a very important advantage for increasing production capacity in terms of annual mass production.

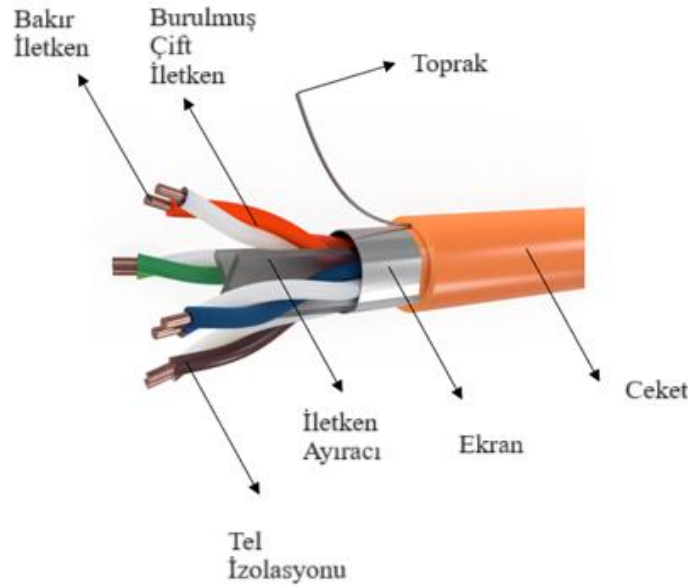
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstri devrimleri ile endüstri başta olmak üzere geliştirilen teknolojiler ile de günlük yaşamımız hızla dijitalleşmektedir. Artık veriler dijital olarak kaydedilmekte, iletilmekte ve işlenmektedir. Kablosuz iletim teknikleri geliştirilmiş olsa da günümüzde en verimli ve güvenilir veri iletim şekli kablolu iletimdir. Bu kapsamda verilerin iletiminde en çok kullanılan kablo tipi

*Corresponding author, e-mail: selimh@marmara.edu.tr

To cite this article: S. Hartomacıoğlu, K. Mutlu, K. Dizman, D. Dağdelen, S. Çalışkan, Production Parameters' Optimization of CAT6 Local Area Network (LAN) Cables with Taguchi Method, Manufacturing Technologies and Applications, 5(3),130-140, 2024. <https://doi.org/10.52795/mateca.1516466>, This paper is licensed under a CC BY-NC 4.0

LAN kablolarıdır. LAN, yani Yerel Ağ Bağlantısı (Local Area Network), iş yeri ve ev gibi ortamlarda bulunan yazıcıları, bilgisayarları ve diğer aletleri birbirine, internete veya bir ağa bağlayan sistemdir. Bu sistemde kullanılan kablolar ise LAN kabloları olarak tarif edilmektedir. LAN kabloları dünya çapında yüksek ölçeklerde üretim ve tüketim nedeniyle öne çıkmaktadır [1]. Bu kablolar endüstriyel üretim ile üretilen ürünlerdir. Ana iletken bakır tel kullanılmaktadır. CAT6 kablo yapısında, Şekil 1 de verilmiştir, bakır iletken, izolasyon, bükülü izoleli iletkenler, çapraz dolgu bileşeni, topraklama teli- ekran ve dış kılıf yapısı bulunmaktadır. 4 adet bükülü çift izoleli iletken yapı bir araya gelmekte ve toplamda 8 adet bakır iletken tel kullanılmaktadır. Dış kılıf, kablonun dış ortamdan gelecek zararlara karşı koruma görevini görür. Ekran ise dış ortamdan gelebilecek elektromanyetik girişimleri engeller. Çapraz dolgu bileşeni ise bükülü izoleli iletken çiftlerinin birbirleri arasındaki elektromanyetik girişimleri engelleme görevi görür. Her bir iletken üzerine kaplanan izolasyon malzemesi ile birbirleri ile teması engellenir, veri ise her bükülü çift üzerinden aktarılır [2].



Şekil 1 CAT6 LAN kablo bileşenleri (CAT6 LAN cable components)

CAT6 kablolarında iletken olarak yüksek saflıkta ve iletkenlikle bakır malzemesi kullanılmaktadır. Yine izolasyon malzemesi olarak ise Polietilen gibi malzemeler tercih edilmektedir. Bükülü çiftler merkezde kullanılan kros elemanı ile bükülerek öz büküm elde edilmektedir. Daha sonra Al/PET bant ile kaplanarak üzerine bakır topraklama teli yerleştirilmektedir. Dış kılıf olarak ise HFFR veya PVC malzemeden üretilmektedir [2].

ANSI/TIA 568, ISO / IEC 11801, IEC 61156, EN 50173 gibi uluslararası, Avrupa ve Amerikan standartlarında özellikle CAT3, CAT5e, CAT5, CAT6a ve CAT8 olarak LAN kabloları sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamada en çok CAT6 kablosu kullanılmaktadır. Bu kabloda maksimum ethernet veri hızı 1.000 Mbps, 1 Terebyte veriyi transfer süresi 3 saat, veri iletimi 1000 BASE-TX, konnektör tipi ise RJ45'tir. LAN kablo sektöründe gelişmeler devam etmekte ve CAT8 kablo ile maksimum ethernet veri hızı 25-40 Gbps'e çıkmış, 1 Terebyte veriyi iletmeye süresi ise 5 dakika olarak geliştirilmiştir [2].

LAN kablolarının üretim parametreleri ürünün performansı açısından son derece önemlidir. Bu kapsamda bugüne kadar literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin 2024 yılında T.A. Maschio ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada farklı iletim malzemeli, farklı iç izolasyonlu ve farklı dış izolasyonlu LAN kablosu üretilmiş ve test yapılmıştır. Çalışmada çevresel etkilerin LAN kablolarının ürün ömürleri üzerindeki etkileri incelenmiştir [1]. 2024 yılında yapılan bir başka çalışmada ise termoset ve termoplastik yalıtım malzemelerinin termomekanik özellikler ve yeniden işlenebilirlik açısından avantajlarını birleştirmeye olanak sağlayabilecek polietilen bazlı kovalent ve kovalent olmayan uyarlanabilir ağlar araştırılmıştır [3]. 2023 yılında ise R. A. Ofosu ve arkadaşları

tarafından yapılan çalışmada ise yapay zeka esaslı bir teknik ile elektrik kablosu üretim hattında hız kontrolüne yönelik çalışma yapılmıştır [4]. Yu-Ping Gu ve arkadaşları tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada Taguchi robüst tasarım yöntemini kullanarak kablo izolasyonunun eksantriklik değeri optimize edilmiştir. Hat hızı, ön ısıtma, ekstruder bölge sıcaklıkları gibi birçok parametre için araştırma yapılmış ve optimal parametreler tespit edilmiştir [5]. Yine 2020 yılında Ayokunle Adesanya ve arkadaşları tarafından yapılan ve basım aşamasında olan çalışmada yapay sinir ağları metodu kullanılarak Nigeria kablo üretim endüstrisinde ekstrüzyon parametreleri tahmin edilmiştir. Çalışmada maksimum operasyon sıcaklığı, özgül ağırlık, sertlik, çekme mukavemeti gibi malzeme özellikleri giriş parametresi, ekstrüzyon bölge sıcaklıkları, kalıp sıcaklıkları gibi değerlerde çıkış parametresi olarak ele alınmıştır. Geliştirilen modelin performansı incelenmiş ve modelin uygulaması yapılmıştır [6]. 2014 yılında Yung-Tsan Jou ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada fiber optik kabloların dış kaplama işlemi için enjeksiyon kalıplama proses parametreleri optimize edilmiştir. Çalışmada metod olarak Yanıt Yüzeyi Metodu (Response Surface Method) ve Taguchi Metodu entegre edilerek kullanılmıştır. Proses parametresi olarak operasyon sıcaklığı, su soğutma sıcaklığı, hava soğutma sıcaklığı ve hız alınmıştır. Geliştirilen model test edilmiş ve sonuçlar optimize edilmiştir [7]. Kablo üretimi konusunda genel olarak malzeme ve üretim parametreleri konusunda çalışma yapılmasına rağmen bazı çalışmalarda ise kablo üretiminde makine seçimi gibi konularda çalışılmıştır. Örneğin; Kabadayı ve ark. tarafından yapılan çalışmada Bulanık Dematel ve Bulanık Promethee yöntemleri ile kablo üretiminde seçimi konusu çalışılmıştır. Çalışmada yazarlar, bir kablo üretim tesisindeki makine seçim problemi ele alınmış ve optimize edilmiştir. Kalite, maliyet, kullanım kolaylığı, satış sonrası hizmetler, endüstriyel tercih gibi kriterler tanımlanmış ve incelenmiştir [8]. Yine Christopher ve ekibi tarafından yapılan bir başka çalışmada elektrik kablolarında izolasyon malzemesi için malzeme ve proses parametrelerinin ayarlanması ve robüst tasarımı için çalışma yapılmıştır. Çalışmada Taguchi L9 (3⁴) ortogonal dizisi kullanılmış ve giriş parametresi olarak barrel sıcaklığı, çapraz başlık sıcaklığı, kalıp bölgesi sıcaklığı ve ekstrüder hızı incelenmiştir [9].

Yapılan literatür araştırması ve süreç incelemelerinde kablo üretim hattının parametrelerinin optimizasyonu üretimde verimlilik ve kapasite arttırımı açısından son derece önemlidir. Özellikle hat hızı ve ekstruder sıcaklıklarının önemli parametreler olduğu gözlenmiştir. Yine kullanılan malzemelerin seçimi de ürün kalitesi üzerinde çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Özellikle CAT6 kablolarında hat hızı, kalıp bölge sıcaklıkları ve tavlama akımının etkisini aynı anda, istatistiksel deney tasarımı yöntemi ile etkileşimleri de dikkate alarak inceleyen çalışma eksikliği bulunmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Çalışma endüstriyel kablo üretimi yapan Nexans Türkiye Tuzla fabrikasında gerçekleştirilmiştir. CAT6 kablosu üretiminde ilk aşama yüksek saflıkta bakır telinin tedarik edilmesiyle başlanmaktadır. 8 mm. çapa sahip olan bakır, ilk olarak kaba tel çekme işleminden geçirilerek 2.2 mm. çapa indirilmektedir. Sonrasında 23AWG standardına uygun bakır tel çekme işlemi için TANDEM izolasyon hattına sevk edilmektedir. İnce tel çekme işleminde farklı sayıda haddelerden tel geçirilerek son çapa indirilmektedir. Ayrıca bu işlem anında tavlama işlemi de yapılmaktadır. Tavlama işlemi için doğrudan akım tekniği kullanılmakta ve tel üzerine akım vererek ısıl işlem gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sırasında soğutma, işlem kolaylığı ve temizlik için emülsiyon sıvısı kullanılmaktadır. Sonrasında bu sıvı temizlenerek bakır ön ısıtmadan geçirilmekte ve izolasyon kaplama için ekstrüzyon hattına gelmektedir. Bu işlem için ekstrüder makinaları kullanılmakta ve polietilen malzeme granül halde iken farklı ısı bölgelerinden geçirilerek vida yardımıyla ittirilmekte ve kaplama için kalıba gönderilmektedir. Sonrasında ön ısıtması gerçekleştirilmiş tel üzerine kaplanarak soğutma sonrası elde edilen izoleli tel makaraya sarılarak bir sonraki hatta geçmektedir. Sonrasında izoleli iletkenler çiftler halinde bükülür ve bu bükülü iletkenler ortasında plastik çapraz merkez bileşeni kullanılarak 4'lü çift şeklinde tekrar bükülmektedir. Üzerine ekran kaplandıktan sonra dış kılıf kaplanarak nihai şeklini almaktadır. Üretim hattında ürünün elektriksel kalite karakteristiklerini en çok etkileyen kısım TANDEM izolasyon hattı dediğimiz ince tel çekme ve

izolasyon kaplama kısmıdır. Bu hat üzerinde tek bir izoleli iletken elde edilmektedir. Yapılan bu çalışmada TANDEM izolasyon hattı üretim parametreleri incelenmiş ve optimize edilmiştir. Çalışmada Nexans Türkiye Tuzla Fabrikasında bulunan izolasyon hattı kullanılmıştır. Hat üzerinde online ölçüm yapabilen ‘Üretim Yürütme Sistemi’, MES, bulunmaktadır. Bu sistem ile bakır çapı, damar çapı, izole çapı, eksantriklik, kapasite, ekstruder bölge sıcaklıkları, ekstruder devri, basıncı, hat hızı vb. gibi değerler online ölçülebilmektedir. Üretim sonrası ise çekme testi, çap ölçümü ve diğer kalite parametreleri ölçülebilmektedir. Ayrıca ürünün elektriksel iletim performansı ve diğer parametreleri de ölçülebilmektedir. Üretim hattına ait görseller şekil 2’de verilmiştir.



şekil 2. TANDEM izolasyon hattı görünümü (TANDEM insulation line view)

LAN kablolarında elektroliz yöntemiyle saflığı ve elektriksel iletkenliği arttırılmış yüzey merkezli kübik yapıya sahip elektrolitik bakır Cu-ETP (Cu₂O) kullanılmaktadır. Elektrolitik bakırın saflık seviyesi %99.90 olmakla birlikte yüksek mukavemet özelliklerine yüksek korozyon ve kimyasal dayanıma ve kolayca işlenebilirliğe sahiptir. Ergime sıcaklığı 1066 °C olup, ötektik üstü bakır oksijen alaşımı olduğu söylenebilir [10]. 8 mm filmaşın Cu-ETP nin tel çekme işleminden sonra normalizasyon tavlaması ısıl işlemi gerçekleştirilir. Normalizasyon tavlamasında, tel çekme işleminden sonra uzayan tane yapısını küçültmek, azalan sünekliği arttırmak, homojen bir mikroyapı elde etmek ve mekanik özellikleri istenilen değerlere yaklaştırmak dolayısıyla azalan elektriksel iletkenliği yükseltmek hedeflenmektedir. Tavlama prosesi sırasında sürtünme kaynaklı yüzey problemlerini azaltmak, bakırın yüzeyden oksitlenmesini önlemek ve sonraki proseslerde kullanmak adına sarımın açılmasını kolaylaştırmak için tavlama suyunun içerisinde emülsiyon sıvısı kullanılır. Emülsiyon sıvısının Ph değeri 8.7 viskozite 100 °F 200 SUS, özgül ağırlığı 0.92’dir [11].

LAN kabloların damarlarında kullanılan izolasyon malzemesi yüksek yoğunluklu polietilen malzemedir. Yüksek yoğunluklu polietilenin darbe ve çekme dayanımı, suya, kimyasal dayanımı yüksek, yoğunluk değerleri 0.90 ile 0.97 g/cm³. Yaşlandırma ve korozyon dayanımları, çatlak ilerleme dayanımları yüksektir [12].

LAN kablo üretim hattının en önemli aşaması olan izolasyon hattı için deneysel optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ilk adım olarak uzman ekip ile hattın parametreleri tespit edilmiş ve daha önceki deneyimlere ve literatür araştırmasına göre parametreler değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda hat hızı, tavlama akımı ve ısı profilleri en önemli parametreler olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin seviyeleri de uygulamalara göre ve katalog verilerine göre alt ve üst limitler belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan parametreler ve seviyeleri Tablo 1’de verilmiştir. Deneysel çalışmada çıkış parametresi olarak ise iletkenin çekme mukavemeti ve % uzama seçilmiştir. Yine üretim anında üretim parametrelerinin varyasyonunu görmek için halihazırda kurulu olan MES üzerinden damar çapı, iletken çapı, eksantriklik, kapasite gibi değerler on-line olarak ölçülmüş ve grafize edilerek analiz yapılmıştır.

Tablo 1. Deneysel tasarımda kullanılan parametreler ve seviyeleri (Parameters and levels used in experimental design)

Simge	Faktör	Seviye 1	Seviye 2
A	Hat Hızı [m / min]	850	900
B	Tavlama Akımı [A]	374	354
C	Isı Profilleri [°C]	170-240	160-230

Deneysel araştırma çalışmasında full-faktöriyel deney tasarım tekniği kullanılmıştır. İki seviyeli olan ve özellikle büyük üretim hatlarında minimum durdurma ile optimal sonuç elde etmede en çok kullanılan L8 deney tasarımı kullanılmıştır. Üç faktör ve her bir faktörün iki seviyeye sahip olduğu bu deney tasarımında toplam deney sayısı $2^3=8$ olarak gerçekleştirilecektir. Deneysel çalışmada üretim hattının büyük olması ve sürekli bir hat olmasından dolayı deneyler birer kez yapılabilmektedir. Her bir deney sonucu gerek on-line gerekse off-line olarak ölçülen değerler kaydedilmiştir. Off-line ölçümler 5 farklı bölgeden yapılmış ve ortalaması alınmıştır. On-line ölçümlerde ise üretim süresi boyunca zamana bağlı olarak ölçümler alınmış ve grafize edilmiştir. Deneysel analiz ve grafik çalışmaları Minitab yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel tablo ve eşleştirmeler Tablo 2’de verilmiştir.

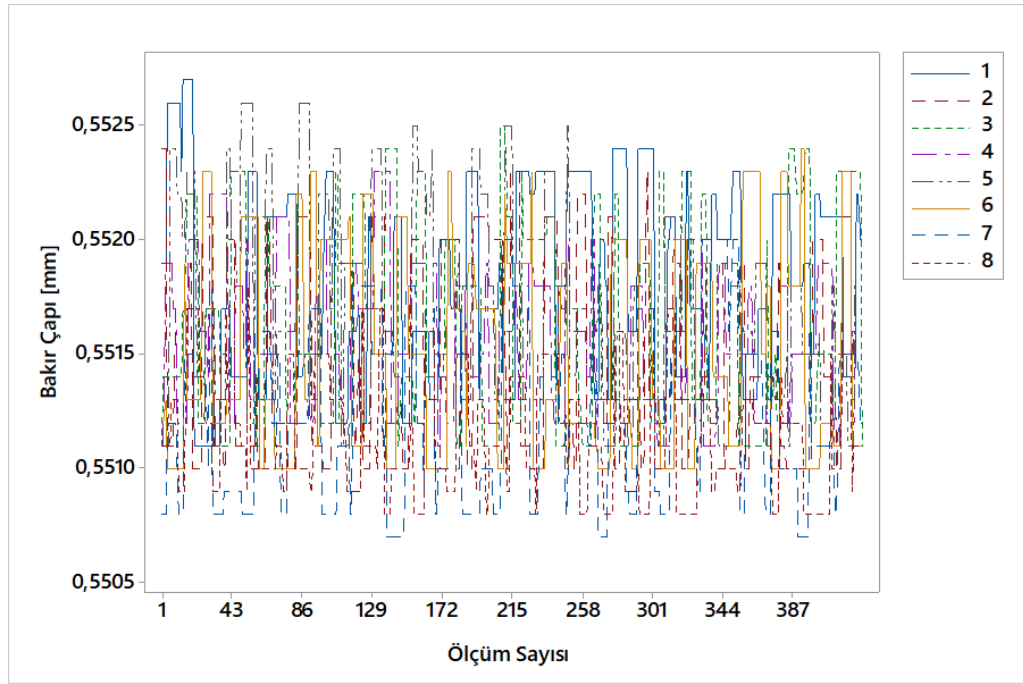
Tablo 2. Deneysel tablo ve eşleştirmeler (Experimental table and matchings)

Deney No	Hat Hızı [m/dk]	Akım [%A]	Isı Profilleri [°C]
1	850	374	170-240
2	900	374	170-240
3	900	354	170-240
4	850	354	170-240
5	850	354	160-230
6	900	354	160-230
7	900	374	160-230
8	850	374	160-230

Deneysel çalışmalar sonrası numuneler üzerinden ölçümlerde çekme mukavemeti ve % uzama için Zwick 1446 cihazı, çap ölçümleri için BETA Lasermike 283-10 cihazı kullanılmıştır. On-line ölçüm yapılan On-line ölçüm yapılan MES ise Wonderware Historian dır.

3. DENEY VE OPTİMİZASYON SONUÇLARI (EXPERIMENT AND OPTIMIZATION RESULTS)

Çalışmada ilk olarak on-line ölçüm yapılan değerler incelenmiş ve varyasyonları değerlendirilmiştir. Bunlar damar çapı, kapasite, bakır çapı, eksantriklik, hat hızı, tavlama akımı, ekstrüzyon bölge sıcaklıklarıdır. Üretim anında zamana bağlı olarak üretim yöntemi sistemi yazılımı ile veriler alınmış, kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlara ait minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma verileri Tablo 3’te verilmiştir. Örnek bir veri olarak bakır deneylere bağlı olarak bakır çapı değişim grafiği Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. On-line ölçüm sisteminden elde edilen veriler ve zamana bağlı değişimleri (Data obtained from the on-line measurement system and their changes over time)

Tablo 3. Online ölçüm sistemi ile ölçülen veriler (Data measured with online measurement system)

		Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Deney 6	Deney 7	Deney 8
Damar Çapı [mm]	Min.	0.9253	0.9473	0.9471	0.9474	0.9331	0.9507	0.9483	0.9488
	Max.	0.9518	0.9521	0.9527	0.9525	0.9574	0.9577	0.9550	0.9550
	Avg.	0.9476	0.9498	0.9500	0.9498	0.9510	0.9539	0.9518	0.9513
	Std. Dev.	0.0038	0.0015	0.0015	0.0013	0.0056	0.0016	0.0015	0.0016
Kapasite [pf/m]	Min.	243.00	243.00	243.00	243.00	241.00	241.00	242.00	242.00
	Max.	262.00	246.00	246.00	246.00	257.00	245.00	245.00	246.00
	Avg.	246.10	244.77	244.71	244.96	244.80	242.95	243.75	243.93
	Std. Dev.	2.23	0.85	0.8384	0.7763	3.3935	1.0031	0.8356	0.8743
Copper Diameter [mm]	Min.	0.5511	0.5510	0.5511	0.5511	0.5511	0.5508	0.5507	0.5508
	Max.	0.5527	0.5524	0.5525	0.5523	0.5526	0.5524	0.5520	0.5518
	Avg.	0.5518	0.5515	0.5516	0.5516	0.5517	0.5515	0.5512	0.5511
	Std. Dev.	0.0004	0.0004	0.0005	0.0003	0.0004	0.0005	0.0004	0.0003
Eccentricity (mm.)	Min.	0.0020	0.0020	0.0020	0.0010	0.0010	0.0000	0.0020	0.0010
	Max.	0.0150	0.0070	0.0070	0.0060	0.0050	0.0080	0.0080	0.0080
	Avg.	0.0048	0.0047	0.0046	0.0033	0.0032	0.0040	0.0041	0.0048
	Std. Dev.	0.0026	0.0015	0.0016	0.0014	0.0013	0.0017	0.0015	0.0018
Hat Hızı [m./dk.]	Min.	851.00	901.00	874.00	850.00	851.00	852.00	851.00	851.00
	Max.	904.00	904.00	904.00	874.00	853.00	904.00	904.00	853.00
	Avg.	852.27	902.51	902.26	852.56	852.33	902.53	901.32	852.44
	Std. Dev.	2.4773	0.8854	3.1919	2.9179	0.7045	4.1451	8.8854	0.6738
Tavlama Akımı [A]	Min.	323.00	325.00	332.00	326.00	328.00	329.00	330.00	329.00
	Max.	424.00	422.00	430.00	415.00	420.00	427.00	434.00	424.00
	Avg.	374.42	371.73	374.70	369.04	373.87	376.84	380.75	370.39
	Std. Dev.	27.689	25.854	26.599	24.346	25.355	24.896	27.841	22.343
Zone 5 [°C]	Min.	229.30	229.90	229.60	229.50	211.50	219.60	219.60	219.50
	Max.	230.90	230.40	230.20	230.50	222.70	220.60	220.40	220.30
	Avg.	230.06	230.09	229.98	229.94	219.55	220.04	220.02	219.99
	Std. Dev.	0.4008	0.0986	0.1482	0.3367	2.3012	0.2334	0.2358	0.1968

Çalışmanın sonraki adımında çekme mukavemeti ve % uzama sonuçları analiz yapılmış ve grafize edilmiştir. Deneylelerden elde edilen ortalama çekme mukavemeti ve % uzama değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Elde edilen ortalama çekme mukavemeti ve uzama değerleri (Average tensile strength and elongation values)

Deney No	Çekme Mukavemeti [MPa]	% Uzama
1	251.25	25.29
2	254.47	24.02
3	255.01	21.02
4	255.94	23.05
5	251.03	21.81
6	254.27	20.41
7	252.34	22.95
8	249.96	23.83
Max.	255.94	25.29
Min.	249.96	20.41
Fark	5.99	4.89

3.1. Çekme Mukavemeti Analizi (Tensile Strength Analysis)

Çalışmada ilk olarak off-line olarak ölçülen çekme mukavemeti edilmiştir. İlk olarak her bir numunenin 5 farklı yerinden ölçüm yapılmış ve ölçümler deney numarasına göre çizilmiştir. Her bir deney için bu 5 farklı ölçümün ortalaması alınmış ve optimizasyonda kullanılmıştır. Elde edilen her bir deneye ait sonuçlar çekme mukavemeti için Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Çekme mukavemeti için deney tekrarları ve istatistiki değerleri

Tekrarlama	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Deney 6	Deney 7	Deney 8
1	246.12	255.95	256.12	256.13	249.67	259.68	254.41	248.55
2	250.29	257.82	260.98	257.53	247.68	258.62	250.72	249.96
3	252.18	251.91	257.25	256.57	251.72	253.66	253.65	248.66
4	253.79	252.78	253.30	255.18	253.37	244.62	254.09	250.69
5	253.86	253.88	247.38	254.31	252.72	254.75	248.82	251.93
Min	246.12	251.91	247.38	254.31	247.68	244.62	248.82	248.55
Max.	253.86	257.82	260.98	257.53	253.37	259.68	254.41	251.93
Avg.	251.25	254.47	255.01	255.94	251.03	254.27	252.34	249.96
Std. Dev.	3.22	2.41	5.08	1.24	2.34	5.96	2.45	1.42

L8 deney sonuçlarına göre gerçekleştirilen deneysel analiz sonucunda faktör ana etki grafikleri ve etkileşim grafikleri elde edilmiştir. Grafikler Şekil 4'de verilmiştir. Yine ana faktörlerin sonuç üzerindeki etkileri olan A-B, A-C ve B-C grafikleri Şekil 5'de verilmiştir.

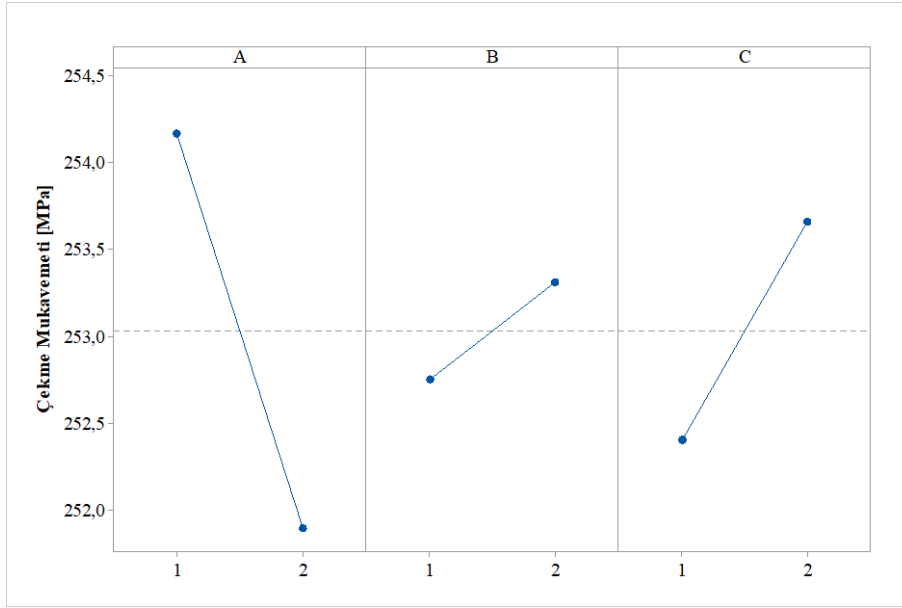
3.2 % Uzama Analizi (% Elongation Analysis)

Çalışmada yine off-line olarak ölçülen % uzama değerleri elde edilmiştir. İlk olarak her bir numunenin 5 farklı yerinden ölçüm yapılmış ve ölçümler deney numarasına göre çizilmiştir. Her bir deney için bu 5 farklı ölçümün ortalaması alınmış ve optimizasyonda kullanılmıştır. Elde edilen her bir deneye ait sonuçlar % uzama için **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da verilmiştir.

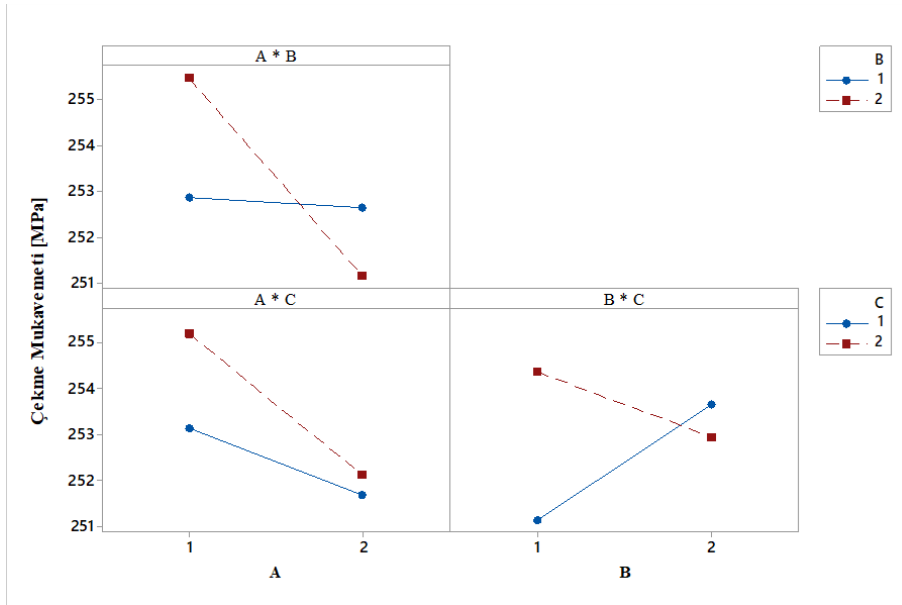
Tablo 6. % uzama için deney tekrarları ve istatistiki değerleri

Tekrarlama	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Deney 6	Deney 7	Deney 8
1	26.29	23.46	23.34	22.50	21.86	18.25	22.41	22.58
2	24.36	23.69	21.04	21.11	22.11	20.41	22.27	21.52
3	24.06	22.14	21.39	23.66	24.49	22.31	23.29	23.70
4	25.42	25.35	18.87	21.84	20.38	19.48	25.91	25.31
5	26.33	25.48	20.46	26.12	20.23	21.58	20.86	26.05

Min	24.06	22.14	18.87	21.11	20.23	18.25	20.86	21.52
Max.	26.33	25.48	23.34	26.12	24.49	22.31	25.91	26.05
Avg.	25.29	24.02	21.02	23.05	21.81	20.41	22.95	23.83
Std. Dev.	1.06	1.40	1.62	1.96	1.72	1.62	1.87	1.87

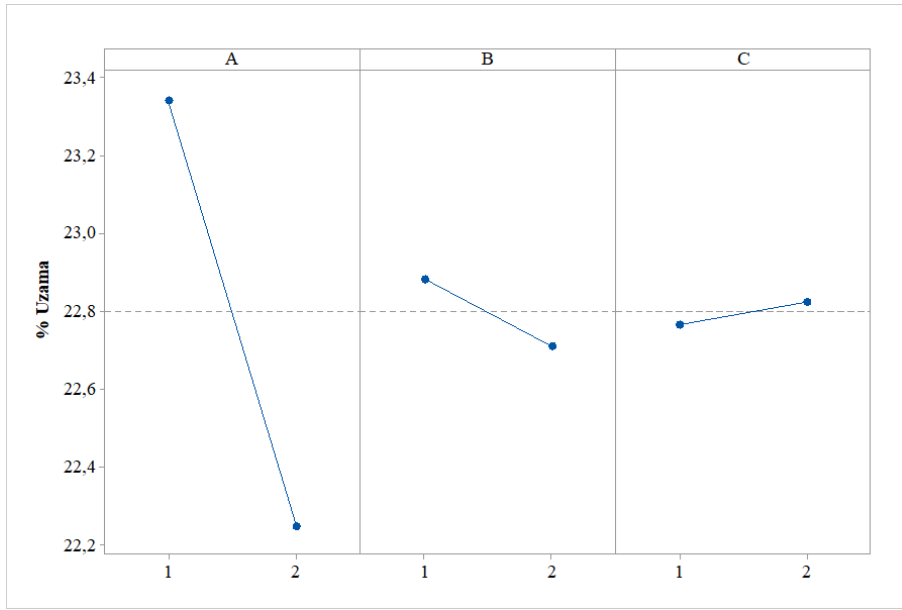


Şekil 4 Çekme mukavemeti değerlerine göre hesaplanan ana etki grafikleri (Main effect graphs calculated according to tensile strength data)

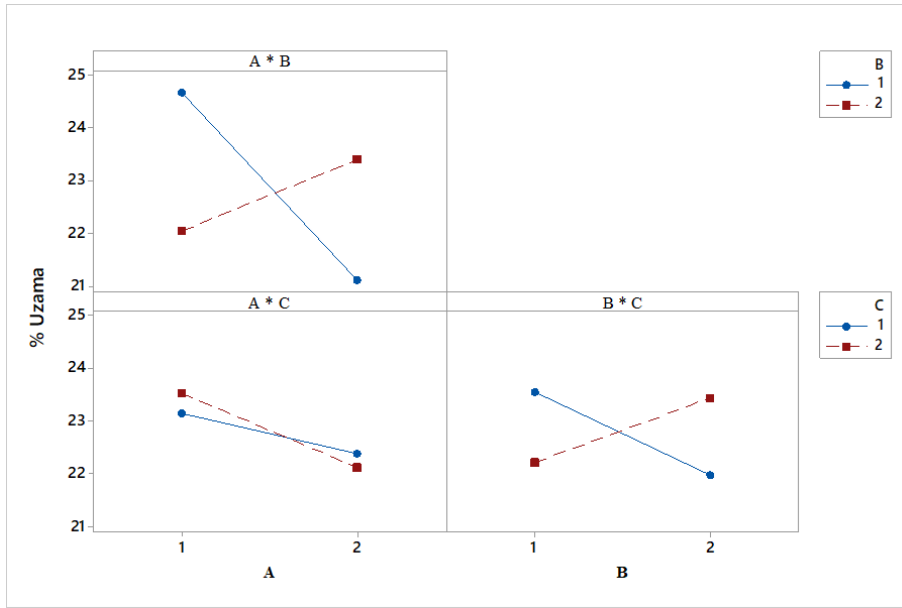


Şekil 5. Çekme mukavemeti değerlerine göre hesaplanan etkileşim değerleri (Interaction values calculated according to tensile strength data)

L8 deney sonuçlarına göre gerçekleştirilen deneysel analiz sonucunda faktör ana etki grafikleri ve etkileşim grafikleri elde edilmiştir. Grafikler Şekil 6'da verilmiştir. Yine ana faktörlerin sonuç üzerindeki etkileri olan A-B, A-C ve B-C grafikleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. % Uzama değerlerine göre hesaplanan ana etki grafikleri (Main effect graphs calculated according to % elongation values)



Şekil 7. % Uzama değerlerine göre hesaplanan etkileşim değerleri (Interaction values calculated according to % elongation values)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

LAN kablo üretimi ve elde edilen sonuçların ilgili standartlarda değerleri sabitlenmiştir. Bu kapsamda bu tür kablolarda damar çapları, kapasite değerleri ve bakır çapları nominal değer, maksimum ve minimum değerler Tablo 7’de verilmiştir. Eksantriklik değerinde ise beklenen değer maksimum 10 mikron olmasıdır.

Tablo 7 LAN Kablo Üretiminde Standart Değerler (Standard Values in LAN Cable Production)

Değişken	Nominal Değer	Maksimum Değer	Minimum Değer
Damar Çapı [mm]	0.950	0.960	0.940
Kapasite [pF/m]	245	250	240
Bakır Çapı [mm]	0.551	0.553	0.549

Üretim sürecinde üretim yürütme sistemi (MES) ile alınan ve Tablo 3'te verilen veriler incelendiği zaman damar çapı, kapasite ve bakır çapı açısından değerler beklenen seviyede olduğu, maksimum ve minimum değerler arasında olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir önemli parametre olan eksantriklik incelendiği zaman ise 10 mikron altında olduğu görülmektedir. Hat hızı ve ekstruder bölge sıcaklıkları da aynı şekilde varyasyonun çok az olduğu görülmektedir. Fakat tavlama akımında yapılan deneylerin tamamında bir varyasyon olduğu tespit edilmiştir. Bu değer bir sonraki Ar-Ge çalışmasında incelenmek üzere değerlendirilmektedir. Genel olarak üretim sürecinde tavlama akımı dışında diğer değerlerin beklenen aralıkta olduğu tespit edilmiştir.

Deneyisel çalışmada iki önemli parametre çıkış parametresi olarak alınmıştır. Bunlar çekme mukavemeti ve % uzama değeridir. Bu değerler için her bir deney 5 kez tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları alınarak Tablo 4'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiği zaman çekme mukavemeti açısından maksimum ve minimum değer arasında 5.99 MPa'lık bir değer olduğu, % uzama açısından ise bu fark değerinin 4.89 % olduğu tespit edilmiştir. Çekme mukavemeti açısından incelendiği zaman verilerin % olarak çok fazla değişmediği görülmüştür. Fakat % uzama açısından sonuçlar değerlendirildiği zaman değişimin çok olduğu görülmektedir. Bu kapsamda Adesanya ve ekibi tarafından yapılan çalışmada, yapay zeka esaslı bir model ile Nijerya kablo üretim sektöründe ekstrüzyon parametrelerinin tahmini modeli geliştirilmiştir. Modelde kablodan istedilen özellikler, örneğin maksimu çalışma sıcaklığı, sertlik, termal stabilitiy, çekme mukavemeti, % uzama gibi değerler kullanılarak ekstruder bölge sıcaklıkları ve diğer sıcaklıklar tahlin edilmiştir [7]. Çalışmadan görüldüğü üzere ekstruder bölge sıcaklıklarının ve kalıp sıcaklıklarının kablo özellikleri üzerinde büyük etkisinin olduğu görülmektedir.

Çekme mukavemeti açısından sonuçlar değerlendirildiği zaman Tablo 5'te verilen verilerde en büyük standart sapmanın 3 ve 6. deneyde olduğu, en küçük standart sapmanın ise 4. Deneyde olduğu görülmektedir. Verilerdeki varyasyon incelendiği zaman en yüksek sapma değerindeki deneylerde hat hızı değişkeninin 2. Seviyede yani 900 m/dk olduğu görülmüştür. En düşük varyasyonun görüldüğü 4. Deneyde hat hızınının 850 m/dk olduğu tespit edilmiştir. Hat hızı artmasıyla üretim sisteminde çekme mukavemeti açısından varyasyonun arttığı tespit edilmiştir.

% uzama açısından veriler incelendiği zaman Tablo 6'da sunulan verilere göre maksimum varyasyonun 4, 7 ve 8. deneyde olduğu görülmektedir. En düşük varyasyonun ise 1. deneyde olduğu görülmektedir. Hat hızı ve tavlama akımı açısından sonuçlar incelendiği zaman hat hızı değişkenine bağlı orantılı bir değişimin görülmeyeceği, aynı şekilde tavlama akımı açısından da bir orantı tespit edilememiştir. Genel olarak % uzama açısından varyasyonun birbirine yakın çıktığı tespit edilmiştir.

Ana etki grafikleri deneysel araştırma çalışmalarında önemli grafiklerdir. Özellikle parametrelerin etkilerinin tespitinde rasyonel sonuçlar vermektedir. Bu kapsamda çekme mukavemeti için Şekil 4 incelendiği zaman A parametresi yani Hat Hızı (m/dk) değerinin çekme mukavemeti üzerinde son derece etkili olduğu grafikteki değişimden görülmektedir. Hat hızının artırılmasının genel olarak çekme mukavemetinde azalmaya sebep olduğu, yine önceki tespitlerden hat hızı arttırımının çekme mukavemeti değerinde varyasyona sebep olduğu görülmüştür. İkinci önemli parametrenin ise ekstuder bölge sıcaklıkları, üçüncü önemli parametrenin ise tavlama akımı olduğu görülmektedir. % uzama açısından ana etki grafiği incelendiği zaman Şekil 6'da verilen eğriler incelenecek olursa yine A parametresi yani Hat Hızı değişkeninin çok önemli olduğu, artması ile % uzama değerinin büyük oranda azaldığı tespit edilmiştir. Tavlama akımı ve ekstuder bölge sıcaklıklarının % uzama üzerinde çok etkisi olmadığı grafiklerdeki değişimlerden görülmektedir. Bu kapsamda 2023 yılında Ihueze ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ekstruder bölge sıcaklıkları ve hat hızı incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Ekstruder bölge sıcaklıklarından barrel sıcaklığın bağıl yoğunluk üzerinde etkili olduğu, yine kalıp sıcaklığının artması ile bağıl yoğunluğun arttığı, hat hızının ise artması ile barrel sıcaklığında olduğu gibi bağıl yoğunluğun düştüğü tespit edilmiştir [10]. Yapılan bu akademik çalışmada da görüldüğü üzere hat hızı ve ekstruder bölge sıcaklıklarının sonuçlar üzerinde çok etkisi olduğu görülmektedir.

İstatistiksel deney tasarımı metodunda ana etkilerin yanında etkileşimlerin de etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda çekme mukavemeti açısından etkileşimlerin etkisi

incelendiği zaman Şekil 5’da verilen grafikte görüldüğü üzere A-B etkileşiminin ve B-C etkileşiminin çok önemli olduğu, A-C etkileşiminin ise çok az etkisi olduğu görülmüştür. İkili etkileşimlerden görüldüğü üzere Hat Hızı ve Tavlama Akımı değerlerinin etkileşimlerinin de çekme mukavemeti üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. Yine % uzama açısından etkileşim grafikleri incelendiği zaman Şekil 7’da verilen grafiğe göre yine A- B etkileşiminin etkisinin fazla olduğu, sonrasında B-C ve en son çok az etkileşim etkisinin olduğu A-C görülmektedir. Gerek çekme mukavemeti ve gerekse % uzama açısından A-B etkileşiminin etkisinin fazla olduğu, A-C etkileşiminin ise çok az olduğu görülmektedir. Yani bu deneysel çalışmada Hat hızı ve Tavlama Akımı ikili etkileşiminin sonuçlar üzerinde önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir

Sonuç olarak yapılan bu deneysel çalışmada üretim sisteminin genel olarak varyasyonunun düşük olduğu, elde edilen verilerin incelenmesi sonucunda hat hızı ve tavlama akımının çekme mukavemeti ve % uzama üzerinde çok etkisi olduğu tespit edilmiştir. Deneysel araştırma sonuçları incelendiği zaman mevcut üretim hattı hızının 800 m/dk hızdan, 900 m/dk hıza çıkartılmasının gerek çekme mukavemeti, gerek % uzama ve diğer parametreler açısından uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma ile üretim hızında 5.88 % artış sağlanarak üretim verimliliği ve kapasitesinde önemli artış sağlanmıştır. İleriki çalışmalarda hat hızı ve tavlama akımı üzerine odaklanarak çekme mukavemeti ve % uzama açısından daha detaylı çalışmaların yapılabileceği, ayrıca üretim hattı hızının 950 m/dk hıza çıkartma için yeni deneysel çalışmalar yapılabileceği ön görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Nexans Türkiye End. Tic. A.Ş. tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. T.A. Maschio, Y.M.B. Saavedra, I.A. Aldaya, M.P. Dos Santos, R.A. Penchel, J.A. de Oliveira, Life cycle assessment as a support in decision making for ecodesign in LAN cables, *Int. Journal of Environmental Science and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s13762-024-06015-7>, 2024.
2. J.S. Simon, G. Theo, B Kurt, Cable oversheath selection: The right material for the right application, *China International Conference on Electricity Distribution Conference*, 13-16 September, Nanjing, 2010.
3. A.M. Pourrahimi, M. Mauri, S. D’Auria, R. Pinalli, C. Müller, Alternative concepts for extruded power cable insulation: from thermosets to thermoplastics, *Advanced Materials*, 2313508, 1-24, 2024.
4. R.A. Ofosu, E. Normanyo, N. Abdul-Aziz, S.S. Stickings, Speed control of an electrical cable extrusion process using artificial intelligence-based technique, *Journal of Nasional Teknik Elektro*, 12 (1): 42-52, 2023.
5. Nexans, Data Network Solutions, <https://www.nexans.be/en/products/Data-Network-Solutions.html>, 10.09.2022.
6. Y.-P. Gu, L.-S. Cheng, L.-J. Xu, X.-L. Chen, Optimization of cable insulation eccentricity by Taguchi robust design, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 36 (5): 271-275, 2019.
7. A. Adesanya, A. Abdulkareem, L.M. Adesian, Prediction extrusion process parameters in Nigeria cable manufacturing industry using artificial neural network, *Heliyon*, 6(7): e04289, 2020.
8. N. Kabadayı, S. Dağ, Bulanık dematel ve bulanık promethee yöntemleri ile kablo üretiminde makine seçimi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(14): 239-260, 2017.
9. M. Zasadzińska, T. Knych, The morphology of eutectic copper oxides I (Cu₂O) in the processing of wire rod and wires made from etp grade copper arch, *Metall. Mater.*, 64(4): 1611-1616, 2019.
10. C.C. Ihueze, U.O. Onwurah, C.E. Okafor, N.S. Obuka, C.C. Okpala, N.C. Okoli, C.O. Nwankwo, Q.A. Kingsley-Omoyibo, Robust design and setting process and material parameters for electrical cable insulation, *Int J Adv Manuf Technol.*, 126: 3887–3904, 2023.
11. DTS Industrial Supply, Hough to-Draw WD 4100, <https://dtsindustrial.com/houghto-draw-wd-4100.html> 10.09.2022.
12. Fiva Plastik, Yüksek Yoğunluklu Polietilen, <https://fivaplastik.com.tr/urunlerimiz/yype/> 10.09.2022.