



Türk Doğa ve Fen Dergisi Turkish Journal of Nature and Science

<http://www.bingol.edu.tr/dergiler/turk-doga-ve-fen-dergisi.aspx>



Elektrokimyasal yöntemle Visinal *trans*-1,2-Dibromür bileşiklerinden Alken sentezi

Latif KELEBEKLI^{*1}, Yunus KARA²

Özet

Bu çalışmada, bisiklik halka sistemine sahip bileşiklerden elektrokimyasal indirgenme ile alken sentezi yapıldı. Gerekli başlangıç bileşikleri, endoperoksit ve *trans*-7,8-dibromo-*cis*-2,5-dihidroksibisiklo [4.2.0] okta-3-en sentetik yöntemler kullanılarak hazırlandı. Bu bileşiklere elektrokimyasal indirgenme yöntemi uygulanarak *cis*-2,5-diasetoksi-bisiklo [4.2.0] okta-3,7-dien ve bisiklo [4.2.0] okta-3,7-dien elde edildi. Elde edilen tüm bileşiklerin yapıları spektroskopik teknikler (FT-IR, ¹H-¹³C-NMR) kullanılarak belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Elektrokimyasal indirgenme, katodik indirgenme, alken sentezi

Synthesis of Alkenes from Vicinal *trans*-1,2-Dibromide compounds by electrochemical methods

Abstract

In this work, alkene synthesis was carried out by electrochemical reduction of compounds having a bicyclic ring system. The required starting compounds were prepared the endoperoxide and *trans*-7,8-dibromo-*cis*-2,5-dihydroxybicyclo [4.2.0] octa-3-ene using synthetic methods. Electrochemical reduction method was applied to these compounds and obtained the *cis*-2,5-diacetoxy-bicyclo [4.2.0] octa-3,7-diene and bicyclo [4.2.0] octa-3,7-diene. The structures of all compounds obtained were determined using spectroscopic techniques (FT-IR, ¹H-¹³C-NMR).

Keywords: Electrochemical reduction, cathodic reduction, alkene synthesis

1. Giriş

Organik sentezlerde çift bağların halojenlenme-dehalojenlenme tepkimesinin ayrı bir önemi vardır. Bunun en önemli sebeplerinden birisi, halojenlerin moleküle kolay katılıp molekülden kolay ayrılmasıdır. Halojenler alkenlere elektrofil olarak katılırlar ve böylece visinal halojen bileşikleri meydana gelir. Özellikle çift bağ içeren halkalı bileşiklerde, organik sentezlerde çok çalışılan Br₂ ve Cl₂ moleküllerinin elektrofilik katılması stereospesifiktir [1]. Genellikle *trans* 1,2-katılma ürünleri meydana gelmesine karşın *cis* 1,2-katılma ürünlerine de rastlanmaktadır. Bu durum genellikle çift bağ içeren bileşiğin geometrisine bağlıdır.

Visinal dibrom bileşiklerinde dibrom eliminasyonu ile alken elde etmek için iki yöntem vardır; birincisi uygun bir indirgeyici reaktif kullanarak dehalojenasyon, ikincisi ise elektrokimyasal indirgenme. Visinal dihalojenlerin eliminasyon reaksiyonları 1932'den beri bilinmektedir [2]. Goering ve Espy 1955'de yapmış olduğu bir çalışmada,

iyodür iyonu kullanarak *trans*-1,2-dibromürlerin eliminasyonundan alken elde ederken, *cis*-1,2-dibromürlerin de eliminasyon verdiğini ispatlamışlardır [3]. 1970'de Mathai ve ark. Stilben dibromürün iyodür ile protik ve aprotik çözücülerde birkaç metal ve indirgeyici reaktifler kullanarak halojen eliminasyonu ile alkenlere dönüştüğünü araştırmışlar ve stereoselektif bir reaksiyon olduğunu belirtmişlerdir [4]. Sodyum [5], magnezyum [6], çinko [4,7], selenyum [8], bakır [9], sodyum sülfid [10], titanyum (III) [11], kobalt (II) [12], tellür [13], samaryum [14], indiyum [15], nikel [16,17] gibi metaller debrominasyon reaktifleri olarak kullanıldığı ispatlanmıştır.

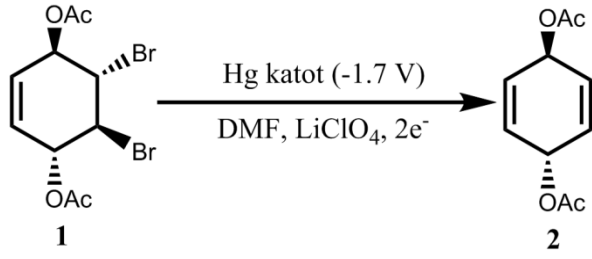
1,2-Dibromürlerin elektrokimyasal indirgenmesi bir preparatif metot olarak kullanılır ve reaksiyon koşullarının potansiyel yumuşaklığı nedeniyle kimyasal prosedürlere cazip bir alternatif sunar. 1,2-Dibromürlerin elektrokimyasal indirgenmesi sonucu yeni alkenler oluşmaktadır [18-20]. Buna rağmen elektrokimyasal visinal dibrom eliminasyonu oldukça kısıtlıdır.

Son yıllarda biz *trans*-1,2-dibromür yapısına sahip 1,4-diasetoksi-5,6-dibromo-2-siklohekzen **1**'in elektrokimyasal indirgenmesi sonucu *trans*-1,4-diasetoksisiklohekza-2,5-dien **2** bileşiğinin sentezini gerçekleştirdik [21] (Şekil 1).

¹ Ordu Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 52200 Ordu, Türkiye

² Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 25240 Erzurum, Türkiye

*Sorumlu yazar E-posta: lkelebekli@odu.edu.tr



Şekil 1. Bileşik 1'in elektrokimyasal reaksiyonu

Bu çalışmada biz 1,2-dibromür içeren bisiklik halka sistemlerine elektrokimyasal indirgenme metodunu uygulamayı amaçladık.

2. Materyal ve Metot

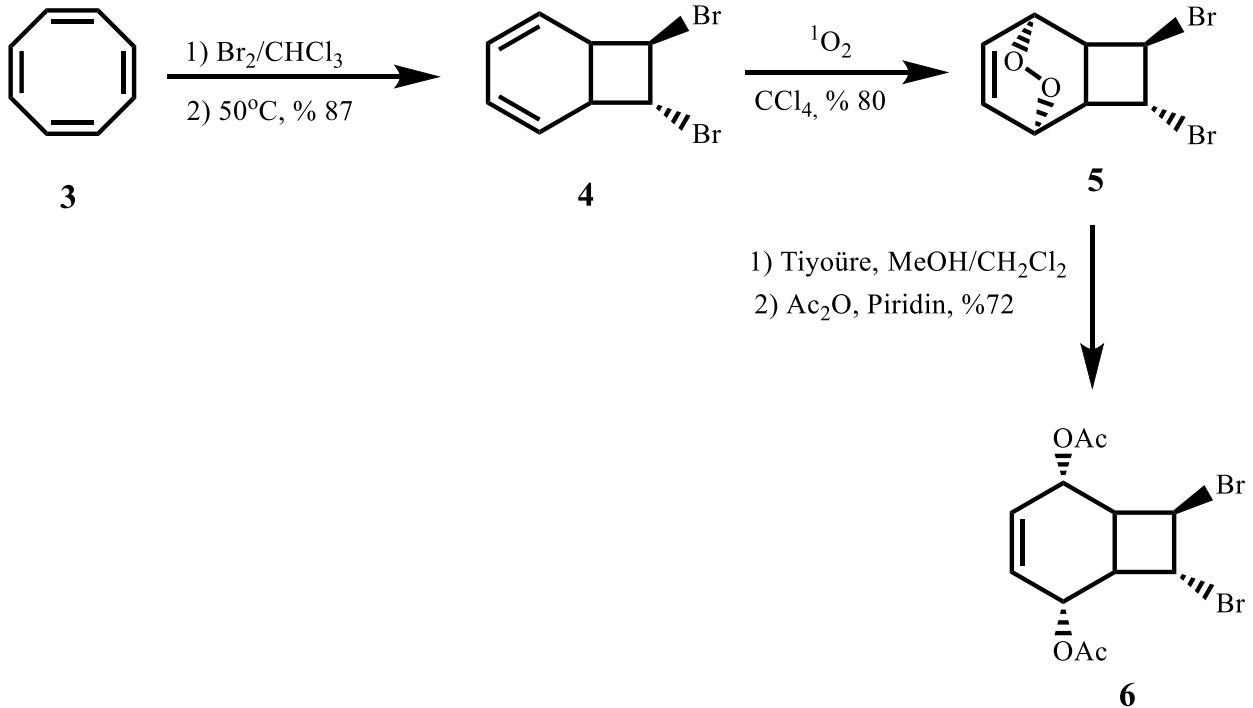
Elektrokimyasal indirgenme için hedef bileşik olarak seçilen 1,2-dibrom 6 bileşiği siklooktatetraenden çıkılarak elde edildi. Bu kısım literatürde bilindiğinden bilinen metot izlenerek bileşik 6 elde edildi. Siklooktatetraen 3 bir mol Br₂ ile düşük sıcaklıkta reaksiyonu sokularak dibromsiklooktatrien bileşiği ve ardından 50°C de ısıtılması sonucu yüksek verimle iki halka sistemi içeren 7,8-dibromobisiklo[4.2.0]okta-2,4-dien 4 bileşiği elde edildi [22]. Burada ısıyla disrotatorik bir kapanma sonucu tek halkalı sistemden iki halkalı sisteme geçiş sağlanmış oldu. Bunun sonucu olarak hedeflenen *trans*-1,2-dibrom bileşiğinin iskelet yapısına geçilmesi sağlandı. Siklooktatetraen, valans izomeri olan bisiklooktatrien ile dengedir [23]. Bileşik 4'e elektrokimyasal indirgenme reaksiyonu uygulandığında geri dönüşümlü bir reaksiyon olacağından, bu nedenle bu bileşiğe oksijen fonksiyonel grupları takmayı amaçladık. Dibromdien bileşiği 4 bir dien sistemi içerdiğinden fotooksjenasyon yöntemi ile oksijen fonksiyonel grupları kolaylıkla takılır. Dibromdien 4 karbon tetraklorür içerisinde çözülerek katalitik miktarda *meso*-tetrafenilporfirin (TPP) ilave edilerek oda sıcaklığında

manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak çözeltilerden sürekli oksijen gazı geçirilirken, sistem 500 W'lık projeksiyon lambası ile ışınlandırıldı. Bunun sonucu olarak arzu edilen trisiklik bileşik 5 [24,25] yüksek verimle elde edildi (%80). Trisiklik yapıdaki endoperoksit 5 bileşiğinin yapısı ¹H ve ¹³C NMR spektrumları ile belirlendi [25].

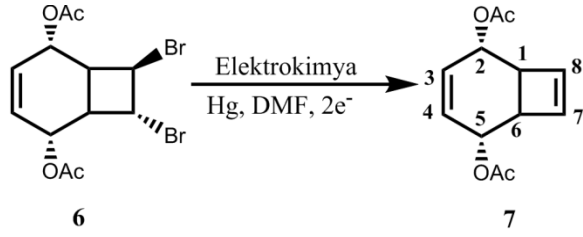
trans-7,8-Dibromo-*cis*-2,5-dihidroksibisiklo[4.2.0]okta-3-en 6, dibromendoperoksit 5'in ekivalent miktarında tiyoüre ile MeOH/CHCl₃ (2:1) karışımındaki reaksiyonu sonucu oksijen-oksijen bağı indirgenmiştir. Elde edilen ham diol saflaştırma yapılmadan asetik anhidrit/piridin sistemi ile dioller asetatlarına çevrildi. Elde edilen bileşik 6 kromatografik metotla saflaştırıldı ve % 72 verimle elde edildi [25] (Şekil 2).

Bileşik 6'nın indirgeme potansiyelini belirlemek için bir cıva elektrot ile dönüşümlü voltametri tekniği kullanıldı. Oda sıcaklığında alınan voltamogramda SCE'ye göre -1,5 V'da 100 mV s⁻¹'ye kadar olan tarama hızlarında yayvan tersinmez bir katodik pik gözlemlendi. Dönüşümlü voltamogramlar incelendiğinde pik şekli ve katodik pik potansiyeli bakımından literatüre benzerlik tespit edildi [26, 27]. İndirgeme işlemlerinde destek elektrolit olarak 0,1 mol dm⁻³ LiClO₄ içeren DMF çözeltilerinde bir cıva elektrot kullanılarak bölünmemiş hücrede gerçekleştirildi. Bileşik 6'nın -1,7 V da sabit bir potansiyelde elektrolizi tek ürün olarak % 70 verimle *cis*-2,5-diasetoksibisiklo[4.2.0]okta-3,7-dien 7 bileşiğini verdi (Şekil 3). Diasetoksiden 7 bileşiğinin yapısı ¹H ve ¹³C NMR spektrumu ile belirlendi.

Bileşik 7 bir simetrik yapıya sahiptir. Bu yüzden bileşik 7, ¹³C NMR spektrumu 6 pik vermektedir. Bu pikler; iki karbonil karbonu 172,5 ppm'de rezonans olmaktadır, siklobutan halkasındaki çift bağ karbonları 140,7 ppm'de rezonans olurken, altılı halkadaki çift bağ karbonları ise 130,5 ppm'de rezonans olmaktadır. Asetat fonksiyonel grubunun bağlı olduğu karbonlar 71,0 ppm'de, köprübaşı karbonları 46,1 ppm'de, her iki asetat grubundaki metil karbonları ise 23,2 ppm'de rezonans olmaktadır. Bu sonuçlara göre NMR verileri bileşik 7'nin yapısıyla uyum içindedir.

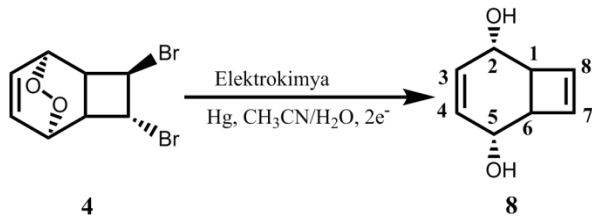


Şekil 2. Bileşik 6'nın sentezi



Şekil 3. Bileşik 6'nin elektrokimyasal reaksiyonu

Bu çalışmada elektrokimyasal indirgenme ile bileşik 6'dan bileşik 7 başarılı bir şekilde elde edilmiş oldu. Buradan esinlenerek bileşik 4'e sadece çözücü değişikliği yapılarak yukardaki aynı yöntemi uygulamayı amaçladık. Aynı potansiyel aralığında çalışarak endoperoksit 4'deki hem oksijen-oksijen bağı parçalandı hem de 1,2-dibromür eliminasyonu meydana geldi. Bunun sonucu olarak, elektrokimyasal metotla endoperoksit 4'den katodik indirgenme yöntemi ile bisiklo[4.2.0]okta-3,7-dien-*cis*-2,5-diol 8 % 64 verimle elde edildi (Şekil 4). Burada elektrokimyasal dibromür eliminasyonunun yanında endoperoksit bağının parçalanması dikkate değer görülebilir. Endoperoksitler kolay parçalanabilir özelliktedir, ancak yapısında endoperoksit ve dibrom bulunduran bileşiklere elektrokimyasal indirgenme kolayca uygulanabilmesi açısından önemlidir. Çünkü bu tür fonksiyonel gruplar birçok doğal ürünlerin ve sentetik bileşiklerin yapılarında bulunmaktadır.



Şekil 4. Bileşik 4'ün elektrokimyasal reaksiyonu

Bisiklo[4.2.0]okta-3,7-dien-*cis*-2,5-diol 8 bileşiğinin yapısı ¹H ve ¹³C NMR spektrumu ile belirlendi. Bileşik 8 bir simetrik yapıya sahip olduğundan özellikle ¹³C NMR spektrumundan yararlanıldı. Bileşik 8, ¹³C NMR spektrumunda 4 pik vermektedir. Bu pikler; siklobutan halkasındaki çift bağ karbonları 141,0 ppm'de rezonans olurken, altılı halkadaki çift bağ karbonları ise 133,3 ppm'de rezonans olmaktadır. Hidroksil gruplarının bağlı olduğu karbonlar 68,1 ppm'de, köprübaşı karbonları 49,2 ppm'de rezonans olmaktadır. Bu sonuçlara göre NMR verileri bileşik 8'nin yapısıyla uyum içindedir.

3. Bulgular

3.1. Kullanılan araç ve gereçler

Elde edilen bileşiklerin NMR-spektrumları ¹H-NMR için 200 MHz ve ¹³C-NMR için 50 MHz Varian-Gemini 2000 (Atatürk Üniversitesi, Erzurum) cihazı ile kaydedildi. IR spektrumları KBr üzerinden Mattson 1000 FT-IR spektrofotometresi ile kaydedildi. Dönüşümlü voltametik çalışmalarda Potentioscan Wenking POS 73 potentiostat ve YEW 3022 A4X-Y kaydedici kullanıldı.

3.2. Kullanılan kimyasal maddeler

Siklootatetraen, brom molekülü, tiyoure, asetik anhidrit, piridin ve çeşitli organik çözücüler ticari olarak satın alındı. Elektrokimyasal indirgenmede kullanılan platin

tel elektrotlar ve cıva ticari olarak satın alındı. Elektrokimyasal indirgenmede kullanılan çözücüler DMF ve CH₃CN ticari olarak satın alındı.

3.3. Deneysel kısım

3.3.1. *trans*-7,8-Dibromo-*cis*-2,5-dihidroksibisiklo[4.2.0]okta-3-en 6'nin sentezi

Literatür prosedürü takip edilerek sentezlendi [24, 25].

3.3.2. Elektrokimyasal yöntemle *cis*-2,5-diasetoksi-bisiklo[4.2.0]okta-3,7-dien 7'nin sentezi:

Bileşik 6'nin katodik indirgenmesi: 220 mg (0,576 mmol) 6 bileşiğinin elektrolizi 0,1 M LiClO₄ içeren 50 ml DMF çözeltisinde Hg katot, Pt anot ve referans elektrot (doğru kalomel elektrot, SCE) kullanılarak -1,7 V'ta potansiyel kontrollü olarak oda sıcaklığında 2,5 saat bölünmemiş hücrede gerçekleştirildi. Reaksiyon süresi ampermetre ile kontrol edilerek 100 mV/s'de akım sıfıra düşüncüye kadar 2,5 saat olarak ölçüldü. Reaksiyon karışımı ayırma hunisine alındı. Üzerine etil asetat ilave edildi. DMF çözeltisine etil asetatla faz oluşturma kadar su ilave edildi ve etilasetat fazı ayrıldı. Su fazı etil asetatla (2 x 25 mL) ekstraksiyon yapıldı. Organik fazlar birleştirilerek MgSO₄ ile kurutuldu, süzüldü ve 40 °C'de evaporatörde çözücüsü uzaklaştırıldı. Saflaştırma sonucu 89 mg, % 70 verimle *cis*-2,5-diasetoksi-bisiklo[4.2.0]okta-3,7-dien 7 elde edildi. Elde edilen bileşik 7 etil asetat üzerinden kristallendirildi, e.n: 70-72 °C (lit. 69-70 °C, [24]). ¹H-NMR (200 MHz CDCl₃ ppm) δ 6,08 (s, 2H, H₃ ve H₄), 6,01 (m, 2H, H₇ ve H₈), 5,21 (m, 2H, H₂ ve H₅), 3,11 (m, 2H, H₁ ve H₆), 2,04 (s, 6H, -COCH₃); ¹³C-NMR (50 MHz CDCl₃ ppm) δ 172,5 (2 x C, -C=O), 140,7 (2 x C, C₇ ve C₈), 130,5 (2 x C, C₃ ve C₄), 71,0 (2 x C, C₂ ve C₅), 46,1 (2 x C, C₁ ve C₆), 23,2 (2 x C, -CH₃); IR (CHCl₃, cm⁻¹): 3055, 2953, 1753, 1421, 1395, 1268, 1038, 961, 757.

3.3.3. Elektrokimyasal yöntemle bisiklo[4.2.0]okta-3,7-dien-*cis*-2,5-diol 8'in sentezi:

Bileşik 4'ün katodik indirgenmesi: 200 mg (0,67 mmol) endoperoksit 4 bileşiğinin elektrolizi 0,28 M LiClO₄ içeren 40 ml CH₃CN, 10 ml H₂O çözeltisi içerisinde manyetik karıştırıcı ile karıştırarak bölünmemiş hücrede Hg katot, Pt anot eşliğinde yukardaki metoda göre oda sıcaklığında 4 saat çalışıldı. Reaksiyon karışımı ayırma hunisine alındı. Karışım çözeltisine etil asetatla faz oluşturma kadar su ilave edildi ve etilasetat fazı ayrıldı. Su fazı etil asetatla (2 x 50 ml) ekstraksiyon yapıldı. Organik fazlar birleştirilerek MgSO₄ ile kurutuldu, süzüldü ve 40 °C'de evaporatörde çözücüsü uzaklaştırıldı. Saflaştırma sonucu 60 mg % 64 verimle bisiklo[4.2.0]okta-3,7-dien-*cis*-2,5-diol 8 sıvı (vizkoz) olarak elde edildi. ¹H-NMR (200 MHz CDCl₃ ppm) δ 6,06 (m, 2H, H₇ ve H₈), 6,02 (s, 2H, H₃ ve H₄), 4,30 (m, 2H, H₂ ve H₅), 3,21 (kalın s, 2H, H₁ ve H₆), 2,45 (yayvan, 2H, -OH); ¹³C-NMR (50 MHz CDCl₃ ppm) δ 141,0 (2 x C, C₇ ve C₈), 133,3 (2 x C, C₃ ve C₄), 68,1 (2 x C, C₂ ve C₅), 49,2 (2 x C, C₁ ve C₆); IR (CHCl₃, cm⁻¹): 3300, 1632, 1551, 961, 757.

4. Tartışma ve Sonuç

Bisiklik halka sisitemli iki bileşik *cis*-2,5-diasetoksi-bisiklo[4.2.0]okta-3,7-dien 7 ve bisiklo[4.2.0]okta-3,7-dien-*cis*-2,5-diol 8 elektrokimyasal metot kullanılarak sentezlendi. Bileşik 7 ve 8'in sentezi ile ilgili literatürde yalnız bir çalışma bulunmakta olup, bu çalışma da organik sentezle yapılmıştır [24]. Ancak, biz burada bu bileşikleri

elektrokimyasal metotla sentezlemeyi başardık ve ilave olarak yeni spektroskopik deliller sunduk. Özellikle ^{13}C -NMR spektrumu bir bileşiğin yapısını aydınlatmada önemli bir spektroskopik delildir. Her iki bileşik **7** ve **8**'in ^{13}C -NMR spektrumları, yapılarının aydınlatılması ve simetrik yapıya sahip olduklarını ispatlamak açısından önemli oldu. Ayrıca, elektrokimyasal metot çevre dostu olması sebebiyle de önemlidir. Diğer taraftan, özellikle halkalı sistemlerde 1,2-dibromürlerden alken sentezi literatürlerde az rastlanmaktadır. Bir çok bileşiğin ara kademesini oluşturan halojenleme ve dehalojenleme organik sentezler için oldukça önemlidir. Sonuç olarak, biz bu çalışmada bisiklik halka sistemleride 1,2-dibromürlerden alken sentezi için, elektrokimyasal yöntemin organik sentezlere bir alternatif metot olduğunu ileri sürmekteyiz.

Kaynaklar

- [1] Vollhardt K.P.C., Schore N.E., Organic chemistry, structure and function, 3th, p 493-496, 1998, USA.
- [2] Dillon R.T., The reaction rate of potassium iodide with dibromides of the ethylene bromide type, J. Am. Chem. Soc., 54, 952-960, 1932.
- [3] Goering H.L., Espy H.H., The iodide ion-promoted dehalogenation of *cis*- and *trans*-1,2-dihalocyclohexanes, J. Am. Chem. Soc., 77, 5023-5026, 1955.
- [4] Mathai I.M., Schug K., Miller S.I., Stereoselectivity in the debromination of the stilbene dibromides by several metals and inorganic reductants in several solvents, J. Org. Chem., 35, 1733-1736, 1970.
- [5] Adam W., Arce J., Stereospecific dehalogenation of vic-dibromides by sodium naphthalenide, J. Org. Chem., 37, 507-508, 1972.
- [6] Schubert M., Rabinovitch, B.S., Larson N.R., Sims V.A., The stereochemistry of the debromination of vicinal dibromides by metals, J. Am. Chem. Soc., 74 (18), 4590-4592, 1952.
- [7] Buckles R.E., Bader J.M., Thurmaier R.J., Stereospecificity of the addition of bromine to *cis*- and *trans*-stilbene, J. Org. Chem., 27, 4523-4527, 1962.
- [8] Prince M., Bremer B.W., Brenner W., Sodium selenide vicinal dihalide elimination, J. Org. Chem., 31 (12), 4292-4293, 1966.
- [9] Vijayashree N., Samuelson A.G., Selective debromination of activated vicinal dibromides by copper promoted by copper (II), Tetrahedron Lett., 33, 559-560, 1992.
- [10] Fukunage K., Yamaguchi H., Debromination of vic-dibromides with sodium sulfide in dimethylformamide, Synthesis 879-880, 1981.
- [11] Olah G.A., Prakash G.K.S., Synthetic methods and reactions; XVIII. Preparation of alkenes *via* dehalogenation of vic-dihaloalkanes, coupling of allyl and benzyl halides, dehalogenative coupling of aryl-gem-dihaloalkanes using TiCl_3 - or $\text{TiCl}_4/\text{LiAlH}_4$ reagent, Synthesis 9, 607-609, 1976.
- [12] Halpern J., Maher J.P., Kinetics of the reactions of pentacyanocobaltate (II) with organic halides, J. Am. Chem. Soc., 87, 5361-5366, 1965.
- [13] Butcher T.S., Zhou F., Detty M.R., Debrominations of vic-dibromides with diorganotellurides. I. Stereoselectivity, relative rates, and mechanistic implications, J. Org. Chem. 63, 169-176, 1998.
- [14] Wang L., Zhang Y., Metallic samarium promoted reductive dimerization cyclization of gem-diacetated alkenes, reductive debromination of vic-dibromides, and reduction of sodium alkyl thiosulfates in aqueous media, Tetrahedron 55, 10695-10712, 1999.
- [15] Ranu B.C., Guchhait S.K., Sarkar A., Stereoselective debromination of aryl-substituted vic-dibromide with indium metal, Chem. Commun., 2113-2114, 1998.
- [16] Malanga C., Mannucci S., Lardicci L., Carbon-halogen bond activation by nickel catalyst: Synthesis of alkenes, from 1,2-dihalides, Tetrahedron 54, 1021-1028, 1998.
- [17] Sarma J.C., Borbaruah M., Sharma R.P., Dehalogenation of α -halo ketons and vic-dibromides with nickel boride, Tetrahedron Lett., 26, 4657-4660, 1985.
- [18] Andrieux C.P., Le Gorand A., Saveant J.M., Reductive elimination in vicinal dibromides. Electrochemical reduction of 1,2-dibromo-3-(4-substituted)-phenylpropanes and induction of double-bond migration in the resulting olefins. J. Electroanal. Chem., 371, 191-196, 1994.
- [19] Bowyer W.J., Evans D.H., Electron transfer reactions and associated conformational changes. Electrochemical reduction of *trans*-1,2-diiodocyclohexane, J. Electroanal. Chem., 240, 227-237, 1998.
- [20] Inesi A., Rampazzo L., Stereoselective reduction of meso- and dl-1,2-dibromo-1,2-diphenylethane at the mercury electrode, Electroanal. Chem. Interf. Electrochem., 54, 289-995, 1974.
- [21] Kelebekli L., Demir Ü., Kara Y., Direct synthesis of *trans*-1,4-diacetoxycyclohexa-2,5-diene by electrochemical reduction of r-1,t-4-diacetoxyt-2,c-3-dibromocyclohex-5-ene, J. Chem. Research (S), 402-403, 1997.
- [22] Huisgen R., Boche G., Zum mechanismus der bromierung des cyclooctatetraens, Tetrahedron Lett., 23, 1769-771, 1965.
- [23] Fray G.I., Saxton R.G., The chemistry of cyclooctatetraen and its derivatives, Cambridge University press, Cambridge, p 18, 1978.
- [24] Oda M., Kayama Y., Kitahara Y., Synthesis of bicyclo[4.2.0]octa 3,7-diene-2,5-dione, Tetrahedron Lett., 23, 2019-2022, 1974.
- [25] Kelebekli L., Kara Y., Balci M., Stereospecific synthesis of a new class of compounds: *bis*-homoconduritol-A, -D, and -F, Carbohydr. Res., 340, 1940-1948, 2005.
- [26] O'Connell K.M., Evans D.H., Electron-transfer reactions and associated conformational changes. Electrochemical reduction of some vicinal dibromides, J. Am. Chem. Soc. 105, 1473-1481, 1983.
- [27] Casanova J., Rogers H.R., Electroorganic chemistry. II. Electroreduction of vicinal dibromides, J. Org. Chem., 39, 2408-2410, 1974.