

KOLAY SAĞLANABİLİR MALZEMELERLE MOLEKÜL MODEL YAPIMI

Mustafa SARIKAYA *

Özet

Kimyasal maddelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin kavranabilmesi için, öncelikli olarak onların uzaysal yapılarının, yani moleküler geometrilerinin anlaşılması gerekmektedir. Halbuki, araştırmalar kimya öğretmeni adaylarının konu ile ilgili zorluklar yaşadıklarını göstermektedir. Bunun sebebi, moleküllerin duyu organları ile algılanamaz olmalarıdır. Üstelik, uzaysal yapıların hayal edilmesi, onların üç boyutlu yapılarının kâğıt düzlemine ve/veya tahta düzlemine çizilmesi başka bir zorluktur. Molekül gibi çok küçük yapıların modelleri yapılarak onlar görsel hâle getirilebilir. Bu çalışmada, merkezi atomunun hibrit tipi sp , sp^2 , sp^3 , dsp^3 , d^2sp^3 , dp^3 ve dsp^2 olan bütün inorganik türlerin (moleküller, iyonlar, kompleksler) ve çok sayıda organik molekülün (alkinler, allenler, alkenler, alkanlar, sikloalkanlar, piranozlar, furanozlar, benzen) modellerinin ucuz ve kolaylıkla sağlanabilir malzemeler (karton kâğıt, oyun hamuru ve plastik başlı toplu iğne) ile yapılması için yöntemler verilmektedir. Ayrıca, molekül modellerinin içinde, öğrencilerin ve öğretmenlerin temel geometrik şekilleri anlamalarına yardımcı olacak geometrik şekil modellerine de yer verilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Kimya/fen/matematik eğitimi, modeller, molekül geometrisi, geometrik şekiller.

Abstract

In order to comprehend the chemical and physical properties of chemical substances, firstly it is needed to understand their three-dimensional structures (that is, their molecular geometries). However, research literature shows that prospective chemistry teachers have difficulties related to the subject. The reason might be that molecules are entities not directly perceived by the sense organs. Moreover, to imagine the three-dimensional structures and draw the three-dimensional structures on paper or board plane, other difficulties are. By making the models of very small structures like molecules, they can be transformed a visual shape. In this study, in order to make the models of all inorganic species (molecules, ions, complexes) whose central atoms have the types " sp , sp^2 , sp^3 , dsp^3 , d^2sp^3 , dp^3 and dsp^2 " of the hybridisation and many organic molecules (alkynes, allenes, alkenes, alkanes, cycloalkanes, pyranoses, furanoses, benzene) by using cheap and easily obtainable materials (carton paper, play-dough and pin with plastic-head), the methods are explained. In addition, in order to help students' and teachers' understanding of the basic geometric concepts, it is given place also the geometric shape models in the molecular models.

Keywords: Chemistry/science/mathematics education, models, molecular geometry, geometric shapes.

Giriş

Kimya, maddenin bileşimini, yapısını ve değişimini inceleyen bir bilim dalıdır. Kimya biliminin malzemesi olan madde, atomlardan oluşmuştur. Atomların belirli bir düzen içinde birleşmesi ile moleküller veya formül birimleri meydana gelmektedir. Moleküllerin veya formül birimlerinin uzaysal yapılarında da belirli bir düzenlilik bulunmaktadır. Molekülleri veya formül birimlerini oluşturan atomların birbirleri ile birleştirilmesinden belirli geometrik şekiller ortaya çıkmaktadır. Bunların belli başlıları doğru, eşkenar üçgen, düzgün dörtyüzlü, bozulmuş düzgün dörtyüzlü, üçgen piramit, açılı veya V-şekli, üçgen bipiramit, T-şekli, düzgün sekizyüzlü, kare piramit ve kare düzlemdir.

Moleküler geometri kavramının kimyadaki önemi, Jacobus Henricus van't Hoff'un (1852–1911) zamanından beri bilinmektedir. Hatta karbonun düzgün dörtyüzlü yapısını van't Hoff önermiştir (Gillespie, 1997). Kimyasal maddelerin davranışlarının kavranabilmesi için, öncelikli olarak onların uzaysal yapılarının, yani moleküler geometrilerinin anlaşılması gerekmektedir. Üstelik, moleküler geometriyi anlama, modern kimyadaki çok sayıda konunun anlaşılması için yaşamsal bir öneme sahiptir. Biyomoleküller ve onların işlevleri, zeolitler ve katı yüzeyler ve sentetik polimerler gibi endüstriyel katalizörler, moleküler geometrinin önemli olduğu alanların bazılarıdır (Gillespie, 1997). Halbuki, araştırmalar kimya öğretmeni adaylarının konu ile ilgili zorluklar yaşadıklarını göstermektedir (Fruiro and Calatayud, 1996; Meyer, 2005; Nakiboğlu, 2003; Peterson and Treagust, 1989; Peterson, Treagust and Garnett, 1989; Purser, 1999; Wu and Shah, 2004; Yılmaz ve Morgil, 2001). Tuckey ve diğ. (1991) tarafından yapılan bir çalışmada da, genel olarak öğrencilerin üç boyutlu yapılar, dönme ve yansıma ile ilgili zorluklara sahip oldukları bulunmuştur. Kuo ve diğ. (2004), yaptıkları bir çalışmada organik kimya dersi alan üniversite öğrencilerinin stereokimya problemlerini çözmede büyük zorluklar yaşadıklarını bulmuşlardır. Bu araştırmacılar, öğrencilerin konu ile ilgili bu zorluklarının bilgisayar animasyonları ve plastikten yapılmış fiziksel modeller yardımı ile aşılabileceğini göstermişlerdir. Hatta, MEB Hizmet İçi Eğitim Daire Başkanlığı tarafından düzenlenen hizmet içi eğitim kurslarında, araştırmacı, kimya öğretmenlerinin de moleküler geometriyi anlamada benzer zorluklar yaşadıklarını gözlemlemiştir. Gerek kimya öğretmeni adayları ve gerekse kimya öğretmenleri moleküllerin uzaysal yapılarının yalnızca kâğıt ya da tahta düzleminde gösterilmesi ile moleküler yapıya anlam verememektedirler. Bu durum, kimya öğretiminde beklenen verime ulaşılmasını zorlaştırmaktadır. Üstelik, moleküler geometri konusu, temel olarak bir genel kimya konusudur ve fen, mühendislik, tıp eğitiminde daha

birinci sınıfta öğrencilerin önüne konulmaktadır. Yani problem, kimya öğretmeni adayları ile sınırlı değildir.

Moleküler geometriyi, merkezi atomun hibrit tipi ve merkezi atoma bağlı atomların sayısı belirlemektedir. Orbital, atomik orbitallerin hibritleşmesi, kimyasal bağ ve moleküler geometri kavramları soyut kavramlardır. Ayrıca, atomlar ve moleküller, somut olmalarına rağmen, duyu organları ile algılanamaz parçacıklardır. Üstelik, moleküler geometri uzaysal bir yapıdır ve insanlar, genel olarak; iki boyuttan sonra görülebilir, dokunulabilir cisimleri bile hayal etmekte, onların şeklini çizmekte zorluklar yaşayabilmektedir (Hurwitz ve diğ., 2001). Oysa, moleküler geometri modeller yolu ile görsel hâle getirilerek daha kolay anlaşılır yapılabilir.

Bu çalışmanın kapsamı içinde model, çok küçük (örneğin, atom) veya çok büyük (örneğin, dünya) olduğu için, direkt olarak algılanamayan bir şeyi öğrenciler için görsel, algılanabilir hâle getirmek için yapılan ve öğretimde kullanılan yardımcı materyallere verilen ad olarak tanımlanabilir (Ayas, Çepni, Johnson ve Turgut, 1997). Daha genel anlamda, Erduran'dan (2001) aktarıldığına göre, Amerika Birleşik Devletleri'nde fen eğitiminde standartların oluşturulmasında resmî bir otorite olan "The Unifying Concepts and Processes Standard of The National Science Education Standards", modeli gerçek nesnelere, olaylara, olaylar sınıfına karşı gelen ve açıklayıcı güce sahip olan şemalar veya yapılar olarak tanımlamaktadır (NRC 1996, s. 117). Modeller fen eğitiminde birçok önemli rol tanımlanmıştır. Yine aynı kurumun yazılı kaynağında, modellerin; bilim adamlarının ve mühendislerin şeylerin nasıl işlediğini anlamalarına yardım ettiği ifade edilirken; fiziksel nesnelere, planları, zihinsel yapıları, matematiksel eşitlikleri ve bilgisayar simülasyonlarını içeren çok sayıda çeşidinin olduğu belirtilmektedir (NRC 1996, s. 117). Justi ve Gilbert'e (2002) göre, modellerin en önemli işlevlerinden birisi, karmaşık olguları basitleştirmeleridir. Driel ve Verloop (1999) ise, bilimsel modellerin amaca göre çeşitlilik göstermelerine rağmen, onların yine de ortak karakterler taşıdıklarını ifade etmektedirler. Eğitimde modellere bu denli önemli roller yüklenince, modeller çok sayıda fen eğitimi araştırmasına konu olmuştur (Battino, 1983; Bent, 1984; Cherif, Adams ve Cannon, 1997; Erduran, 2001; Gülçiçek, Bağcı ve Moğol, 2003; Harrison ve Treagust, 1996 and 1998; Streitberger, 1994).

Kimya eğitimcileri, kimya öğretiminde moleküler modellemenin öneminin eskiden beri farkında olmuşlardır. Bu amaçla, plastikten üretilmiş molekül model takımları yapılarak piyasaya sürülmüştür. Türkiye'de ise ilk defa resmî olarak, Millî Eğitim Geliştirme Projesi kapsamında hazırlanan "Kimya Öğretimi" (Ayas, Çepni,

Johnson ve Turgut, 1997) kitabında “Kimya Öğretiminde Model Kullanma” başlığı konulmuş ve böylece konunun önemine ilgi çekilmiştir. Yine bu yıllarda, Atasoy (1996), “Atasoy Molekül Model Seti” ile Türkiye’de moleküler modelleme aracı konusundaki ihtiyaca cevap vermiştir.

Molekül modelleri üzerinden kimya eğitiminde nelerin daha kolay yapılabileceğine, anlaşılabilmesine örnekler verilebilir. Organik ve inorganik moleküllere simetri işlemlerinin uygulanması, simetri elemanlarının ve simetri nokta gruplarının belirlenmesi, modeller vasıtası ile somut hâle getirilebilir. Organik moleküllerin (D,L) ve (R,S) sistemlerindeki konfigürasyonlarının belirlenmesi, geometrik (cis–trans) ve optik izomerliğin anlaşılması modeller yolu ile daha kolay olacaktır. Yine, π -bağının düzlemsel ve σ -bağının çizgisel olduğu modeller üzerinde görsel hâle gelecektir. Moleküldeki tepkimeye açık merkez ya da merkezler, daha kolay görülebilecektir. Bir molekülün polaritesi ve dipol momenti ile ilgili bilgiler, onun geometrisinin bilinmesi ile mümkündür. Örneği, OF_2 ve NF_3 molekülleri polardır ve dipol momentleri sıfırdan farklıdır. Oysa BeF_2 ve BF_3 molekülleri apolardır ve dipol momentleri sıfırdır. Oysa, sözü edilen moleküllerin bu özellikleri, molekül formüllerine bakılarak görülememektedir.

Amaç

Piyasadaki plastikten üretilmiş molekül model takımları, genellikle yabancı kökenlidir. Bu ürünler, kimyanın içindeki kişilere pahalı ve/veya ulaşılabilir değildir. Bu çalışmada, ucuz ve kolay sağlanabilir malzemeler (karton, toplu iğne, oyun hamuru) kullanarak öğretmen, öğretim elemanı ve öğrencilerin kendi molekül modellerini kendilerinin yapması önerilmektedir. Bu kapsamda, molekül modellerinin nasıl yapılacağı hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca, molekül modellerinin içinde, öğrencilerin ve öğretmenlerin temel geometrik şekilleri anlamalarına yardımcı olacak geometrik şekil modellerine de yer verilmektedir.

Araştırmanın Önemi

Piyasadaki molekül model setleri, hiç kuşkusuz, moleküler modellemede oldukça yararlıdır. Fakat, çeşitli sebeplerden dolayı her öğrencinin, öğretmenin, öğretim elemanın hazır setlere sahip olması zor görünmektedir. Halbuki, bu konudaki bütün ihtiyaçlara cevap verilemese de, yine de pek çok kimyasal yapının molekül modeli, ucuz ve kolay sağlanabilir malzemeler kullanılarak

gerçekleştirilebilir. Böylece öğretmen, öğretim elemanı ve öğrenci kendi ürettiği modellerle kimyasal maddeler ile âdeta kaynaşacak, onu elleriyle tutacaktır; kendi ürettiği materyali daha çok sahiplenecek, onu anlamaya çalışacaktır. Böylece, atom, molekül, bileşik, molekül geometrisi hayali şeyler olmaktan çıkacak, somut hale gelecektir. Öğretmen, öğretim elemanı ve öğrenci, kendisinin yaptığı ve elinde tuttuğu cisim hafızasına yerleştirecektir. Elindeki modele bakarak, molekülün uzaysal yapısını kâğıt ve/veya tahta üzerine daha kolay, daha bilinçli olarak çizebilecektir. Kimya öğretimi, modellerle eğlenceli bir nitelik kazanacak; kimya, sıkıcı bir ders olmaktan çıkacaktır. Araştırmacı, hizmet içi eğitim kurslarında kimya öğretmenlerinin, özel öğretim yöntemleri derslerinde lisans öğrencilerinin molekül modelleri yapmaktan büyük zevk duyduklarını gözlemlemiştir. Onların kimyasal maddelerin uzaysal yapılarını daha kolay hayal edebildiklerini, yapıyı kâğıt düzlemine, tahta düzlemine daha kolay çizebildiklerini görmüştür. Ayrıca, matematik derslerinde öğrencilere geometrik şekiller genellikle kâğıt ya da tahta düzleminde verilir. Doğru gibi tek boyutlu geometrik şekli; üçgen, kare, dikdörtgen gibi iki boyutlu geometrik şekilleri anlamada öğrenciler, belki zorluklar yaşamayabilirler. Oysa, piramitler gibi üç boyutlu şekilleri anlamak, onları hayal etmek öğrenciler için kolay olmayabilir. Bu çalışmada, molekül modelleri içinde iki ve üç boyutlu temel geometrik şekillerin modellerine de yer verilerek matematik eğitimine de katkı sağlanmaktadır.

Bu çalışmanın özü, daha önce YÖK/Dünya Bankası Milli Eğitimi Geliştirme Projesi Kimya Öğretimi Semineri'nde (24–26 Ocak 1996), MEB Hizmet İçi Eğitim Daire Başkanlığı 173 numaralı Fen Grubu ve Matematik Öğretim Metotları Kursu'nda (01–05 Temmuz 1996) ve III. Ulusal Fen Bilimleri Eğitimi Sempozyumu'nda (23–25 Eylül 1998) sunulmuştur. Çalışma, belirtilen faaliyetlerin birinci ve üçüncüsünde *işlik çalışması (workshop)* tarzında sunulurken, ikincisinde kimya öğretmenlerine konu ile ilgili etkinlikler yaptırılmıştır. Molekül model yapım yöntemi, katılımcı ve uzmanlardan olumlu tepkiler almıştır. Yine konu ile ilgili etkinlikler, Gazi Eğitim Fakültesi'nde kimya öğretim metodu derslerinde (1995–1996, 1996–1997 ve 1997–1998 Eğitim–Öğretim Yılları) kimya öğretmenliği öğrencilerine de yaptırılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır.

Molekül Geometrisi

Moleküler geometri konusu genel kimya ve inorganik kimyanın en önemli, anlaşılması en zor konularından biridir. Bir molekülün modelinin yapılabilmesi için

öncelikle o molekülün Lewis yapısının yazılması, merkezi atomun hibrit tipinin ve hibrit orbitallerinin uzaysal yönelmelerinin belirlenmesi gerekir. Moleküler geometriyi iki etken belirlemektedir. Bunlardan birincisi, merkezi atomun hibrit tipi, dolayısıyla hibrit orbitallerinin düzenidir. İkincisi ise, merkezi atoma bağlı atom sayısı, yani ligand sayısıdır. Bir molekül için bu iki özellik belirlenebilirse, o molekülün uzaysal yapısını, yani geometrisini tahmin etmek zor olmaz. Molekül formülünden ligand sayısı hemen görülebilir. Ancak merkezi atomun hibrit tipinin belirlenmesi zaman almaktadır.

Moleküler geometrinin tayini için, Gillespie (1963, 1970 ve 1974) tarafından geliştirilen “Değerlik Kabuğu Elektron Çifti İtmesi (Valence Shell Electron Pair Repulsion: VSEPR)” teorisi üzerine kurulmuş olan yöntem önerilmektedir. Yöntemin nasıl uygulanacağı hemen bütün genel kimya ve inorganik kimya kitaplarında (örneğin; Mortimer, 1979) yer almaktadır. Bu teoride moleküller, A merkezi atom, X, A’ya bağlı atom ve E, A üzerindeki bağ yapmamış elektron çiftlerini göstermek üzere, AX_nE_m genel biçimi ile verilmektedir. n ve m, sırası ile X ve E’nin sayısıdır. n+m’nin değeri, yaygın olarak 2, 3, 4, 5 ve 6 olmaktadır. n + m = 2 ise, m=1 (CO, CN⁻) veya m=0 (HgCl₂, CO₂) olabilir. Birinci durumda, iki atom bir doğru üzerinde bulunmak zorunda olduğundan, moleküler geometriden söz edilemez. İkincisinde molekül çizgiseldir. n + m = 3 ise, m = 0 (NO₃, BF₃) veya m = 1 (NO₂, SnCl₂) olabilir. Moleküler geometri, sırası ile üçgen düzlem ve V-şeklidir. n + m = 4 ise, m = 0 (CH₄, SO₄⁻²) veya m = 1 (NH₃, ClO₃⁻) veya m = 2 (H₂O, ClO₂) olabilir. Molekül geometrisi, sırası ile düzgün dörtyüzlü, üçgen piramit ve V-şekillidir. n + m = 5 ise, m = 0 (PCl₅, XeF₂O₃), m = 1 (SF₄, IF₂O₂⁻), m = 2 (ICl₃, XeF₂O) ve m = 3 (I₃⁻, XeF₂) olabilir. Moleküler geometrisi ise, sırası ile üçgen bipiramit, bozulmuş düzgün dörtyüzlü, T-şekilli ve çizgidir. n + m = 6 ise, m = 0 (SF₆, IF₆⁺), m = 1 (BrF₅, XeF₄O) ve m = 2 (ICl₄, XeF₄) olabilir. Molekülün geometrisi, sırası ile düzgün sekizyüzlü, kare piramit ve kare düzlemdir.

Sarıkaya (1992 ve 1995), bir molekülün merkezi atomunun π -bağı sayısı ile molekülün Lewis yapısı; merkezi atomun hibrit tipi, hibrit orbitallerinin düzeni ve moleküler geometri arasında ilişki kurarak, problemin çözümünü sistematize etmiş ve daha kolay anlaşılır hâle getirmiştir. Böylece, merkezi atomun sahip olduğu π -bağı sayısından hareketle, moleküler geometrinin hızlı olarak belirlenebileceği gösterilmiştir. Tablo 1’de bir molekülün merkezi atomunun hibrit tipi ile molekül geometrisi arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 1. Merkezi Atomun Hibrit Tipi İle Molekül Geometrisi Arasındaki İlişki

ML _n	M'nin Hibrit Tipi	Hibrit Orbitallerinin Düzeni	Molekülün Geometrisi	Örnek Yapılar
ML ₂	sp	Çizgisel	Çizgisel	C ₂ H ₂ , CO ₂ , N ₂ O, allen, HCN, CO, NO ₂ ⁺
ML ₃	sp ²	Üçgen düzlem	Üçgen düzlem	BF ₃ , SO ₃ , CO ₃ ⁻² , NO ₃ ⁻ , ClO ₃ ⁺
ML ₂	sp ²	Üçgen düzlem	V-Şekli	SnCl ₂ , SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , NOCl, NO ₂ ⁻ , ClO ₂ ⁺
ML ₄	sp ³	Düzgün dörtyüzlü	Düzgün dörtyüzlü	Zn(NH ₃)Cl ₂ , CH ₄ , NH ₄ ⁺ , POCl ₃ , ClO ₄ ⁻ , IO ₄ ⁻ , SO ₄ ⁻² , PO ₄ ⁻³ , S ₂ O ₃ ⁻² , XeO ₄
ML ₃	sp ³	Düzgün dörtyüzlü	Üçgen piramit	NH ₃ , NF ₃ , PH ₃ , H ₃ O ⁺ , SOCl ₂ , ClO ₃ ⁻ , SO ₃ , IO ₃ ⁻ , XeO ₃
ML ₂	sp ³	Düzgün dörtyüzlü	V-Şekli	H ₂ O, F ₂ O, HOCl, ClO ₂ ⁻ , H ₂ S, H ₂ O ₂
ML ₅	sp ³ d	Üçgen bipiramit	Üçgen bipiramit	PCl ₅ , PF ₅ , OSF ₄ , XeO ₂ F ₂ , PCl ₂ F ₃ , SbCl ₅
ML ₄	sp ³ d	Üçgen bipiramit	Bozulmuş düzgün dörtyüzlü	SF ₄ , SeF ₄ , SCl ₄ , ClF ₄ ⁺ , XeO ₂ F ₂ , IO ₂ F ₂ ⁻
ML ₃	sp ³ d	Üçgen bipiramit	T-Şekli	ClF ₃ , BrF ₃ , ICl ₃ , XeOF ₂
ML ₂	sp ³ d	Üçgen bipiramit	Çizgisel	ICl ₂ ⁻ , I ₃ ⁻ , XeF ₂ , XeCl ₂ , KrF ₂
ML ₆	sp ³ d ²	Düzgün sekizyüzlü	Düzgün sekizyüzlü	SF ₆ , PCl ₆ ⁻ , IF ₆ ⁺ , PF ₆ ⁻ , FeCl ₆ ⁻³ , Fe(CN) ₆ ⁻³ , Co(en) ₂ Cl ₂ ⁺
ML ₅	sp ³ d ²	Düzgün sekizyüzlü	Kare piramit	BrF ₅ , XeOF ₄ , XeF ₅ ⁺ , IF ₅
ML ₄	sp ³ d ²	Düzgün sekizyüzlü	Kare düzlem	IF ₄ ⁻ , ICl ₄ ⁻ , BrF ₄ ⁻ , XeF ₄
ML ₄	d ³ s	Düzgün dörtyüzlü	Düzgün dörtyüzlü	MnO ₄ ⁻ , CrO ₄ ⁻² , Cr ₂ O ₇ ⁻² , VO ₄ ⁻³ , MoO ₄ ⁻² , WO ₄ ⁻² , FeO ₄ ⁻²
ML ₄	dsp ²	Kare düzlem	Kare düzlem	Ni(CN) ₄ ⁻² , Pt(NH ₃) ₂ Cl ₂

Yöntem

Bu çalışmada, molekül model yapımı için iki ayrı malzeme grubu önerilmektedir: Birinci takım: Kırtasiyeden sağlanabilecek renkli ya da beyaz karton kâğıt ve renkli oyun hamuru ile çeyiz satış mağazasından sağlanabilecek değişik renklere plastik başlı uzun toplu iğnelerden oluşan takım. Hamur, undan öğrenciler tarafından da hazırlanabilir. İkinci takım: Kırtasiyeden sağlanabilecek renkli ya da beyaz karton kâğıt ve yukarıda sözü edilen plastik başlı toplu iğnelerden meydana gelen takım.

Bu iki takımla, merkezi atomu Tablo 1'deki hibrit tipine sahip olan kimyasal yapıların molekül modelleri, kolaylıkla yapılabilir. ML_n genel formülünde L, merkezi atom, M'ye bağlı atomları, yani ligandları, n ise ligandların sayısını simgelemektedir.

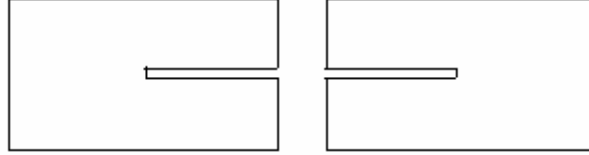
Aşağıda, merkezi atomu Tablo 1'de verilen hibrit tipine sahip olan kimyasal türlerin molekül modellerinin bu iki malzeme grubu ile nasıl yapılacağı bilgisi verilmektedir.

1. Merkezî Atomu sp Hibrit Tipine Sahip Olan Yapılar

Merkezî atomu sp hibrit tipine sahip yapılar üç grupta toplanır: 1. $:-M\equiv M:-$ (örneğin; karbon monoksit, $:-C\equiv O^+:-$, siyanür iyonu, $:-C\equiv N:-$, azot molekülü, $:-N\equiv N:-$), 2. $L-M\equiv M-L$ (örneğin; asetilen, $H-C\equiv C-H$) tipindeki, 3. $L=M=L$ (örneğin, karbon dioksit, $O=C=O$, diazot monoksit, $N^+=N^+=O$, nitronyum iyonu, $O=N^+=O$, allen, $H_2C=C=CH_2$) tipindeki yapılar. Bu yapılarda atomlar arasındaki iki π -düzlemi birbirine diktir. Hibrit orbitallerinin örtüşmesi ile oluşan σ -bağı, bu iki π -düzleminin arakesiti üzerindedir. sp hibritleşmesinde, hibrit orbitallerinin düzeni doğrusal olduğundan, molekül çizgiseldir. İki atom, zaten bir doğru üzerinde bulunmak zorunda olduğundan, CO, CN^- ve N_2 gibi iki atomlu türler için moleküler geometriden söz edilemez.

Birinci Takım

1. $:-M\equiv M:-$ ve $L-M\equiv M-L$ Tipindeki Yapılar: Bu yapıların molekül modelleri yapılırken önce, sıvı yapıştırıcı ile birbirine yapıştırılarak hazırlanmış üç kat kartondan yaklaşık 2×4 cm² boyutlarında iki dikdörtgensel parça kesilir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, her bir parça için uzun kenarlara paralel olarak kısa kenarın ortasından itibaren dikdörtgenin merkezine kadar olan bölgeden çok ince bir parça, makasla kesilerek alınır. Parçalar, oyuk yerlerinden birbirine geçirilirse, birbirine dik iki düzlem elde edilir. Düzlemlerin ara kesitine biraz sıvı yapıştırıcı akıtılır ve kurumaya bırakılırsa, düzlemler sabitleşmiş olur. Birbirine dik iki düzlemden oluşan bu sistem, iki π -düzlemini temsil etmektedir.



Şekil 1. sp Hibritleşmesinde π -Düzlemlerini Temsil Eden Dikdörtgenel Karton Parçalar

Renkli hamurdan iki ayrı yuvarlak (yaklaşık 1 cm yarıçaplı) hazırlanır. Bu yuvarlakların her biri, merkezi atomu temsil etmektedir. CO ve CN^- yapılarında olduğu gibi, merkezî atomlar farklı ise, yuvarlaklar farklı renkte hamurdan hazırlanmalıdır. Küresel hamurların her biri, merkezine kadar bıçakla kesilir. Devamında her bir yuvarlak, ilk doğrultuya dik olacak şekilde, ikinci defa daha kesilir. Böylece, kürelerin yüzeyinde merkeze kadar devam eden, âdetâ bir (+) işareti oluşturulmuştur. Bu yuvarlaklar, daha önce hazırlanan kartonlara, yarık yerlerinden birleştirilir. Yarıkların ters taraflarına ligandları (asetilende hidrojen atomları) ve/veya elektron çiftlerini içeren sp hibrit orbitallerini temsil eden iğneler batırılarak model tamamlanır.

2. L=M=L Tipindeki Yapılar: Merkezî atomu sp hibrit tipine sahip olan diğer yapı, L=M=L tipindeki yapıdır. Bu yapıya örnekler, karbon dioksit ($O=C=O$), diazot monoksit ($N^+=N^+=O$), nitronyum iyonu ($O=N^+=O$) ve allen ($H_2C=C=CH_2$)'dir. Bu yapılarda ortadaki atom, merkezi atomdur ve birbirine dik iki π -düzlemi, bu atomun ters tarafındadır. π -düzlemleri, üç kat kartondan yapılmış $2 \times 4 \text{ cm}^2$ boyutlarında iki dikdörtgenel parça ile temsil edilmektedir.

Yaklaşık 1 cm yarıçaplı hamur yuvarlak, ters taraflardan bıçakla, kesme düzlemleri birbirine dik olacak şekilde merkezine kadar kesilir. Bu yarıklara, yukarıda hazırlanan $2 \times 4 \text{ cm}^2$ boyutlarında iki dikdörtgenel karton yerleştirilir. Kartonların her biri π -düzlemlerini temsil etmektedir ve birbirine diktir. sp^2 hibrit tipine sahip olan atomları temsil eden toplu iğneler, π -düzlemlerini temsil eden kartonların uçlarına, yani kısa kenarlarının ortasına düzlem içinde kalacak şekilde batırılır. Böylece, model tamamlanmış olur.

İkinci Takım

Merkezî atomunun hibrit tipi sp olan türlerin molekül modelleri, karton ve iğnelerden oluşan ikinci takımla daha kolay yapılır.

1. :-M≡M-: ve L-M≡M-L Tipindeki Yapılar: :-M≡M-: ve L-M≡M-L tipindeki yapıların modeli için Şekil 1'deki parçalardan oluşan sistem kullanılır. Ancak, dikdörtgensel parçaların boyutları biraz büyük (örneğin, $5 \times 7 \text{ cm}^2$) alınırsa daha kullanışlı olur. Merkezî atomlar, dik düzlemlerin ara kesitinin başladığı ve bittiği yerde düşünülmelidir. Ligandları ve/veya elektron çiftlerini içeren sp hibrit orbitallerini temsil eden toplu iğneler, ara kesitin başlangıç ve bitim noktasına batırılır.

2. L=M=L Tipindeki Yapılar: L=M=L tipindeki türlerin molekül modelleri için kullanılacak kartonlar yine Şekil 1'deki gibidir. Ancak burada kartonlar üzerindeki oyukların derinliği 0,5 cm'dir. Böylece düzlemlerin ara kesit uzunluğu 1 cm'dir. Dikdörtgenler $5 \times 7 \text{ cm}^2$ boyutunda alınırsa, şekil kullanışlı olur. Merkezî atom, dik düzlemlerin ortak noktasındadır. Merkezî atoma bağlı atomları temsil eden iğneler, her bir dikdörtgensel parçanın kısa kenarının orta noktasını, merkezî atoma birleştiren doğrultuda kartonlara saplanarak model tamamlanır.

Allen yapısında ortadaki karbon düzlemlerin ortak noktasında; uçtaki karbonlar, her bir düzlemin kısa kenarının ortasında düşünülmelidir. Dört hidrojen atomu, toplu iğnelerle temsil edilmelidir. İğnelerden ikisi, uçtaki karbon atomunun düşünüldüğü noktadan kartona aralarında 120 derecelik açı olacak şekilde saplanmalıdır. İğnelerin bulunduğu düzlem, π -düzlemini temsil eden karton düzlemine diktir. Uçlardaki karbon atomlarının hibrit tipi sp^2 dir ve hibrit orbitallerinden ikisi hidrojen atomları ile bağlanmaya girerken, diğeri merkezi karbon atomunun sp hibrit orbitali ile σ -bağı oluşturmaktadır. σ -bağının doğrultusu, π -düzlemini temsil eden dikdörtgensel parçanın kısa kenarının ortasından geçmektedir.

Allen yapısında optik izomerlik, bu model yardımı ile kolaylıkla görülebilir. 2,3-pentadienin molekül modeli yapılırsa, bu yapının simetri düzleminin olmadığı, dolayısıyla optikçe aktif olduğu gözler önüne serilebilir. Bu yapılırken, sp^2 hibrit tipine sahip karbon atomuna bağlı metil grupları bir renk, hidrojen atomları ise başka bir renk iğne ile temsil edilmelidir. İki farklı karton sistemi ile hazırlanan modelle bu bileşiğin enantiyomerleri gösterilebilir. Yine, 3-metil-1,2-butadienin modeli yapılarak, simetri düzleminin bulunduğu, dolayısıyla optikçe inaktif olduğu kolaylıkla görülebilir.

2. Merkezî Atomu sp^2 Hibrit Tipine Sahip Olan Yapılar

sp^2 hibritleşmesinde hibrit orbitallerinin düzeni üçgen düzlemdir. Yani hibrit orbitalleri, bir eşkenar üçgenin köşelerine doğru yönelmiştir ve hibrit orbitalleri arasındaki açı 120 derecedir. Merkezî atomu, sp^2 hibrit tipine sahip olan moleküller, aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi ya ML_3 ya da ML_2 tipinde olabilirler.



Her iki yapıda da merkezî atom, bir tane π -bağı içermektedir ve π -düzlemi, hibrit orbitallerinin bulunduğu düzleme diktir. Örneğin, NO_3^- ve O_3 türlerinin uzaysal yapıları aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Merkezî atomunun hibrit tipi sp^2 olan ML_3 ve ML_2 tipindeki moleküllerin geometrileri sırası ile üçgen düzlem ve V-şeklidir. Moleküler geometriyi atomlar belirler. Elektron çiftlerinin bulunduğu hibrit orbitallerinin geometriye katkısı yoktur. Çünkü, orbital maddi bir şey değildir; o, elektronların içinde bulunduğu düşünülen bir uzay parçasıdır.

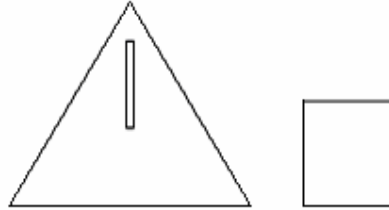
Birinci Takım

Bu yapıların molekül modelleri birinci takımla yapılırken; yuvarlaklaştırılmış hamura göz kararı ile aralarında 120 derecelik açı bulunan üç iğne, hepsi de aynı düzlemde olacak şekilde batırılır. ML_2 tipindeki yapılarda elektron çiftlerini içeren orbitali temsil eden iğne, farklı renkte alınmalıdır. Devamında hamur, iğnelerden birinin yanından molekül düzlemine dik doğrultuda hamurun, merkezine kadar

bıçakla kesilir. Bu yarığa, kartondan yapılmış, π -düzlemini temsil eden, yaklaşık $2 \times 4 \text{ cm}^2$ boyutunda dikdörtgensel parça yerleştirilir. Böylece model tamamlanmış olur.

İkinci Takım

İkinci takım ile model yapımında, önce sıvı yapıştırıcı ile birbirine sıkıca yapıştırılmış üç kat kartondan, Şekil 2'deki gibi bir eşkenar üçgen ve bir dikdörtgensel parça hazırlanır. Üçgenin ağırlık merkezini bir köşesine birleştiren doğru üzerinden, dikdörtgenin uzun kenarına eşit uzunlukta ince bir parça çıkarılır. Bu ince delik ile dikdörtgenin kısa kenarlarının ortasını birleştiren doğru çakışacak şekilde, iki parça birbirine bağlanır. Bu hâli ile üçgen ve dikdörtgenin düzlemleri birbirine diktir. Dikdörtgen, π -düzlemini, üçgen ise hibrit orbitallerinin bulunduğu düzlem, yani molekül düzlemini temsil etmektedir. Üçgenin köşelerine, uçları merkez doğrultusunda olacak şekilde üç iğne batırılarak model tamamlanır. Merkezî atom, eşkenar üçgenin merkezinde düşünülmelidir. ML_2 tipindeki yapılarda elektron çiftini içeren hibrit orbitallerini temsil eden iğne, diğer ikisinden farklı renkte alınmalıdır.



Şekil 2. Merkezî Atomunun Hibrit Tipi sp^2 Olan Moleküllerin Modeli İçin Karton Parçalar

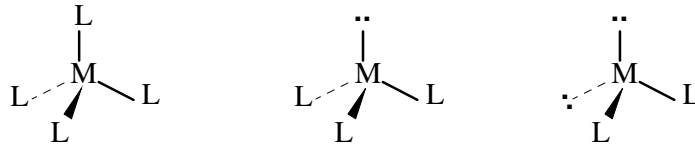
Üçgenin kenarları 12 cm ve dikdörtgen $4 \times 5 \text{ cm}^2$ boyutlarında alınabilir. Doğal olarak üçgen üzerindeki deliğin uzunluğu 5 cm alınmalıdır.

3. Merkezî Atomu sp^3 Hibrit Tipine Sahip Olan Yapılar

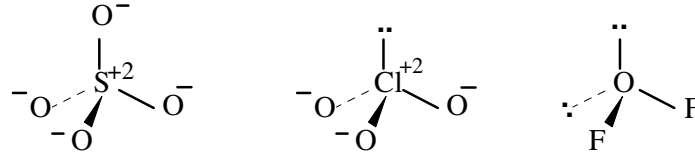
sp^3 hibritleşmesinde hibrit orbitalleri, bir düzgün dörtyüzlünün köşelerine doğru yönelmiştir. Yani hibrit orbitallerinin düzeni, düzgün dörtyüzlü

(tetrahedral)'dir. Hibrit orbitalleri arasındaki açı, molekülden moleküle az-çok değişmekle birlikte, mükemmel düzgün dörtyüzlüde yaklaşık 109,5 derecedir.

Merkezî atomu sp^3 hibrit tipine sahip olan yapılar, uzaysal durumları aşağıda verilen ML_4 , ML_3 ve ML_2 tiplerinde olabilir. Bu yapıların geometrisi, sırası ile tetrahedral, üçgen piramit ve V-şeklidir.



Özelleştirilirse, SO_4^{2-} , ClO_3^- ve OF_2 türlerinin uzaysal yapıları aşağıdaki gibidir:

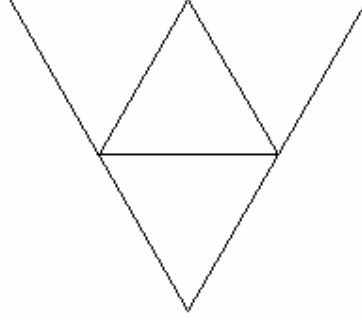


Birinci Takım

Merkezî atomu sp^3 hibrit tipine sahip olan kimyasal türlerin modelleri, birinci takımla yapılırken; hamur yuvarlağa, göz kararı ile aralarındaki açı 109,5 derece olacak şekilde, iki iğne batırılır. Devamında, bu açının açıortayının bulunduğu düzlemde olacak şekilde, aralarında yine 109,5 derecelik açı olacak biçimde diğer iki iğne batırılır. ML_3 ve ML_2 tipindeki yapılarda ligand ve elektron çiftini içeren hibrit orbitalleri, farklı renklerde iğnelerle temsil edilmelidir.

İkinci Takım

Bu yapıların modelleri ikinci takımla yapılırken; önce kartonun üzerine kenar uzunluğu, yaklaşık 7 cm olan bir eşkenar üçgen çizilir. Devamında, üçgenin kenarları üzerinde üç tane daha eşkenar üçgen çizilerek Şekil 3 elde edilir.



Şekil 3. Düzgün Dörtüzlü Hazırlamak İçin Karton Parça

İçteki eşkenar üçgenin kenarları cetvel yardımı ile kalemle birkaç defa bastırılarak çizilir ki, dıştaki üçgenler katlanabilir hâle gelsin. Şekil, dış kenarlarından makasla kesilerek ana kartondan ayrılır. Dış üçgenlerin serbest köşeleri birleştirilir ve izolobantla yapıştırılır. Böylece düzgün dörtüzlü elde edilir.

Model yapımında merkezî atom, düzgün dörtüzlünün merkezinde düşünülmelidir. Ligandlar ve elektron çiftini içeren sp^3 hibrit orbitalleri, sivri uçlardadır ve bunlar plastik başlı toplu iğnelerle temsil edilecektir. ML_4 (örneğin, NH_4^+ , CH_4 , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) tipindeki yapılarda toplu iğnelerin dördü de aynı renkte; ML_3 (örneğin, NH_3 , ClO_3^- , H_3O^+) tipindeki yapılarda biri farklı, üçü aynı; ML_2 (örneğin, H_2O , ClO_2^- , F_2O) tipindeki yapılarda ikisi bir renk, diğer ikisi de başka bir renkte alınmalıdır. Düzgün dörtüzlünün uçlarına toplu iğneler batırılarak model tamamlanır.

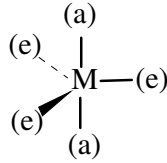
Şekil 3'teki parçadan iki tane düzgün dörtüzlü hazırlanarak asimetric karbon atomu içeren moleküllerin enantiyomerlerinin, ayrı ayrı modelleri yapılır ve bu çiftin hiç bir zaman çakışmadığı gösterilebilir. Yapıların birbirinin ayna görüntüsü olduğu gözler önüne serilir. Örneğin, bu amaçla 2-butanol incelenebilir. Asimetric karbon atomuna bağlı $-OH$, CH_3CH_2- , CH_3- ve $-H$ grupları, farklı renklerde toplu iğneler kullanılarak temsil edilebilir. Ayrıca bu enantiyomerlerin (R,S) sistemindeki konfigürasyonları modeller üzerinde açıklanabilir. Yine aynı yolla, 1-butanolün simetri düzleminin olduğu ve optikçe inaktif olduğu gösterilir.

Üç düzgün dörtüzlüden iki amonyum ve bir sülfat iyonunun modeli yapılır. Masanın üzerinde iki amonyum iyonu modeli arasına sülfat iyonu modeli konularak amonyum sülfatın modeli elde edilir. Benzeri şekilde amonyum nitrat ve amonyum

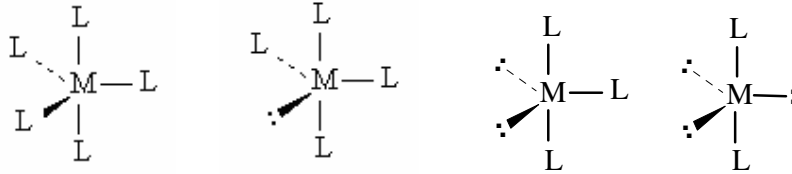
karbonatın modeli de yapılabilir. Ancak, nitrat ve karbonat iyonlarının modelleri, Şekil 2'deki parçalardan hazırlanmalıdır.

4. Merkezi Atomu sp^3d Hibrit Tipine Sahip Olan Yapılar

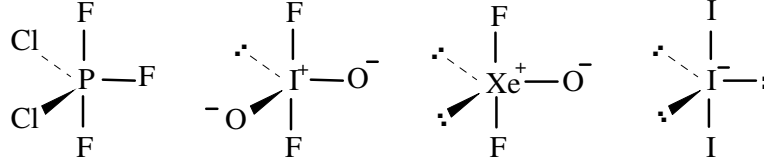
sp^3d hibritleşmesinde, hibrit orbitalleri bir üçgen bipiramitin köşelerine doğru yönelmiştir. Yani hibrit orbitallerinin düzeni üçgen bipiramittir. Aslında sp^3d hibritleşmesi, sp^2 ve pd hibrit orbitallerinin bir karmasıdır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi sp^2 hibrit orbitalleri ekvatoryal (e) konumda, yani kuşakta, pd hibrit orbitalleri ise aksiyal (a) konumda yer alır.



Merkezî atomu sp^3d hibrit tipine sahip olan türlerin molekül formülleri ML_5 , ML_4 , ML_3 ve ML_2 tipinde olabilir ve bunların uzaysal yapıları, sırası ile aşağıda verilenler gibidir.



Bu yapıların geometrileri sırası ile, üçgen bipiramit, bozulmuş tetrahedral, T-şekli ve çizgiseldir. Bu yapılarda ligandlar, öncelikle aksiyal konumdaki pd hibrit orbitalleri üzerinden bağlanmaya girerler. Ligandlar farklı ise, daha elektronegatif atom, aksiyal konumda yer alır. Örnek olarak, PCl_2F_3 , $IF_2O_2^-$, $XeOF_2$, ve I_3^- türlerinin uzaysal yapıları aşağıdaki gibi çizilebilir.



Aşağıda, merkezî atomu sp^3d hibrit tipine sahip olan türlerin molekül modellerinin nasıl yapılacağı verilmektedir.

Birinci Takım

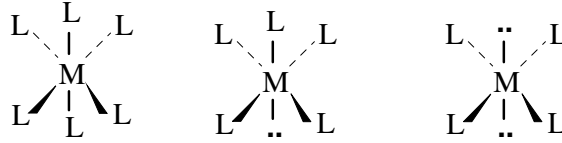
Birinci grup takımla bu türden yapıların molekül modelleri yapılırken; ekvatoryal konumdaki ligandları temsil etmek üzere üç iğne, aynı düzlemde ve aralarında 120 derecelik açı olacak şekilde hamur yuvarlağa batırılır. Sonra bu üçgen düzlemin ters taraflarından, aksiyal konumdaki ligandları temsil eden iğneler batırılır. Farklı ligandlar ve elektron çiftlerini içeren hibrit orbitalleri durumunda, farklı renkte iğneler kullanılmalıdır.

İkinci Takım

Merkezî atomunun hibrit tipi sp^3d olan kimyasal türlerin molekül modelleri ikinci takımla yapılırken, önce Şekil 3'teki karton parçadan iki tane hazırlanır. Bunlardan hazırlanan iki tane üçgen piramit, birer yüzü, yüzlerinin kenarları çakışacak şekilde, sıvı yapıştırıcı ile birbirine yapıştırılır. Böylece üçgen bipiramit elde edilir. Ligandlar ve elektron çiftlerini içeren hibrit orbitalleri, yine ayrı renklerden toplu iğneler kullanılarak farklılandırılabilir. Merkezî atom, geometrik şeklin merkezinde düşünülürken, toplu iğneler şeklin köşelerine batırılarak model tamamlanır.

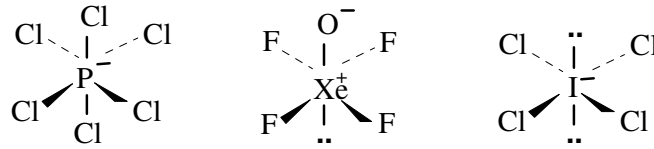
5. Merkezî Atomu sp^3d^2 veya d^2sp^3 Hibrit Tipine Sahip Olan Yapılar

sp^3d^2 veya d^2sp^3 hibritleşmesinde hibrit orbitalleri, bir düzgün sekizyüzlünün köşelerine doğru yönelmiştir. Yani hibrit orbitallerinin düzeni oktahedraldir. Merkezî atomu sp^3d^2 veya d^2sp^3 hibrit tipine sahip olan kimyasal türler, uzaysal yapıları aşağıda verilen ML_6 , ML_5 ve ML_4 tiplerinde olabilir.



Bu yapıların geometrisi, sırası ile oktahedral, kare piramit ve kare düzlemdir.

sp^3d^2 tipi hibritleşmede, hibritleşmeye katılan atomik orbitallerin baş kuantum sayısı, üçü için de aynıdır. Bu durum, merkezî atomu temsilci element olan moleküllerde ve geçiş elementlerinin dış orbital komplekslerinde kendini göstermektedir. Örneğin, XeF_4O ve $[Fe(H_2O)_6]^{+2}$ türlerinde merkezî atomların hibrit tipi sp^3d^2 dir. d^2sp^3 tipi hibritleşme, geçiş elementlerin iç orbital komplekslerinde kendini göstermektedir. Örneğin, $[Fe(CN)_6]^{4-}$ iyonu, bir iç orbital kompleksidir ve merkezî atomun hibrit tipi d^2sp^3 tür. Örnek olarak PCl_6^- , XeF_4O ve ICl_4^- kimyasal türlerinin uzaysal yapıları aşağıda verilmektedir.



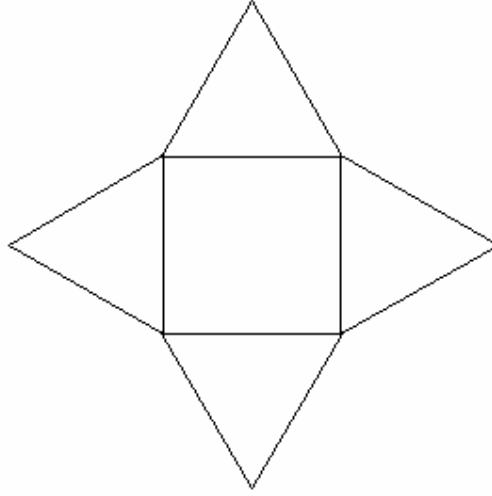
Merkezî atomu sp^3d^2 ve d^2sp^3 hibrit tiplerine sahip olan türlerin molekül modellerinin nasıl yapılacağı aşağıda verilmektedir.

Birinci Takım

Bu türden yapıların molekül modelleri birinci takım ile yapılırken; iğneler, aynı düzlemde ve aralarında 90 derecelik açı olacak şekilde (başka bir ifade ile, iğneler bir karenin köşelerinde olacak biçimde) hamura batırılır. Diğer iki iğne, ilk dört iğnenin oluşturduğu karenin merkezi doğrultusunda, kare düzleme dik olacak şekilde ters taraflardan hamura batırılır. Böylece model tamamlanmış olur. Bir uyarı olarak, yine elektron çiftlerini içeren hibrit orbitallerini temsil eden iğneler farklı renkte alınmalıdır.

İkinci Takım

İkinci takımın model yapımında önce karton üzerine bir kare çizilir. Devamında karenin kenarları üzerine dört tane eşkenar üçgen çizilerek Şekil 4 elde edilir. Karenin kenarları üzerinde bastırarak kalemle birkaç defa gidilir ve üçgenlerin katlanabilirliği sağlanır. Şekil, dış kenarlardan makasla kesilerek ana kartondan ayrılır. Üçgenlerin serbest köşeleri birleştirilerek bir kare piramit elde edilir. Bu şekilden ikinci bir şekil daha hazırlanır. İki şekil, kare yüzeyler üzerinden, kenarları çakışacak şekilde sıvı yapıştırıcı ile yapıştırılarak düzgün sekizyüzlü (oktahedron) elde edilir. Kare ve eşkenar üçgenin kenar uzunlukları, 7 cm alınabilir.



Şekil 4. Düzgün Sekizyüzlü Hazırlamak İçin Karton Parça

Merkezî atom, düzgün sekizyüzlünün merkezinde, ligandlar ve elektron çiftlerini içeren hibrit orbitalleri ise köşelerde düşünülmelidir. Ligand ve elektron çiftlerini temsil eden toplu iğneler, köşelere batırılarak model tamamlanır. ML_5 ve ML_4 tipindeki yapılarda, elektron çiftlerini içeren hibrit orbitalleri ve ligandları temsil eden iğneler, ayrı renkte alınarak farklılaştırılabilir.

Geçiş metal komplekslerinde çok dişli ligandları anlatması bakımından toplu iğneler, dikiş ipliği ile başlarından birbirine bağlanabilir. Örneğin, $[Co(en)_2Cl_2]^+$, $[Cr(ox)_3]^{-3}$ ve $[Co(edta)]^-$ bu türden yapılardır. Burada en, etilendiamin, ox, okzalit

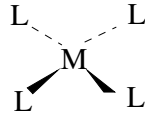
iyonu ve edta, etilendiamintetraasetat iyonudur. ML_6 tipindeki geçiş metal komplekslerindeki geometrik izomerlik ve optik izomerlik, bu modellerle çok daha kolay anlaşılabilir. Yukarıdaki yapılardan ilkinin cis ve trans olmak üzere iki tane geometrik izomeri de vardır. Bu kompleksin cis-izomeri ve diğer iki kompleks optikçe aktiftir. Kartondan iki tane oktahedron hazırlanarak enantiyomerlerin modelleri ayrı ayrı yapılır ve bunların birbirinin ayna görüntüsü olduğu yine gösterilebilir.

6. Merkezî Atomu d^3s Hibrit Tipine Sahip Olan Yapılar

d^3s hibrit orbitalleri, sp^3 hibrit tipinde olduğu gibi, bir düzgün dörtyüzlünün köşelerine doğru yönelmiştir. Yani hibrit orbitallerinin düzeni tetrahedraldir. d^3s tipi hibritleşme, sınırlı sayıdaki MnO_4^- , CrO_4^{2-} , $Cr_2O_7^{2-}$, VO_4^{3-} , MoO_4^{2-} , WO_4^{2-} ve FeO_4^{2-} iyonlarının merkezî atomunda kendini göstermektedir. Bunların molekül modelleri de tıpkı merkezi atomu sp^3 hibrit tipine sahip olan yapılar gibi hazırlanır. Ancak, $Cr_2O_7^{2-}$ iyonunda iki tane merkezî atom olduğu dikkate alınmalıdır.

7. Merkezî Atomu dsp^2 Hibrit Tipine Sahip Olan Yapılar

dsp^2 hibrit orbitalleri, bir karenin köşelerine doğru yönelmiştir. Yani hibrit orbitallerinin düzeni kare düzlemdir. Bu hibrit tipi, Rh^+ , Ir^+ , Ni^{+2} , Pd^{+2} ve Au^{+3} gibi d^8 iyonları ile Rh^{+2} ve Co^{+2} gibi bazı iyonların küçük ligandlar ile verdiği komplekslerde kendini göstermektedir. Bu komplekslerin molekül formülleri, genel olarak ML_4 biçiminde ve yapı formülleri aşağıdaki gibidir.



Merkezi atomu dsp^2 hibrit tiplerine sahip olan türlerin molekül modellerinin nasıl yapılacağı aşağıda verilmektedir.

Birinci Takım

Hamur yuvarlağa dört tane iğne, aralarında 90 derecelik açı ve aynı düzlemde olmaları kaydı ile batırılarak model tamamlanır.

İkinci Takım

İkinci grup malzemeler ile model yapımında ise karesel bir karton ve yine dört tane toplu iğne yeterlidir. Sıvı yapıştırıcı ile birbirine yapıştırılmış dört kat kartondan, örneğin 7 cm kenar uzunluğuna sahip karesel bir parça hazırlanır. Merkezî atom, karenin merkezinde düşünülmelidir. Ligandları temsil eden toplu iğneler ise köşelerdedir. Merkezî atom ve merkezî atoma bağlı atomlar, karesel düzlemedir.

$\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$ kompleksinde merkezî atom, Pt^{+2} nin hibrit tipi dsp^2 , $\text{Zn}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$ kompleksinde ise Zn^{+2} nin hibrit tipi sp^3 tür. Yani, ilk yapı kare düzlemsel olduğu hâlde, ikinci yapı tetrahedraldir. Bu nedenle $\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$ yapısının *cis-* ve *trans-* olmak üzere iki geometrik izomeri vardır. Diğer yapıda izomerlik yoktur. Bu iki yapının modelleri yapılarak aralarındaki fark vurgulanabilir. Bu yapılırken ligandlar, ayrı renkte iğne kullanılarak farklıdırılmalıdır.

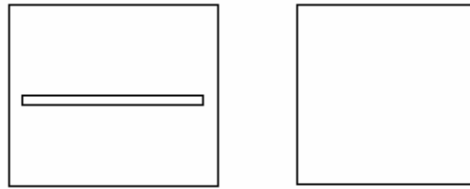
8. Diğer Bazı Molekül Modelleri

Karton ve toplu iğnelerle yapılacak modeller yardımı ile daha birçok organik bileşiğin üç boyutlu yapısı, gözler önüne serilebilir. Modelleme yoluyla alken ve sikloalkanlardaki geometrik izomerlik ile sikloalkanlardaki optik izomerlik, daha kolay anlaşılır hâle getirilebilir.

Geometrik izomerliğin temeli, aynı grupların π -düzlemi veya halka düzleminin aynı tarafında veya ters tarafında olmasıdır. Örneğin, *cis*-2-butende metil gruplarının her ikisi de π -düzleminin bir tarafında iken, hidrojen atomları diğer taraftadır. *trans*-2-butende ise, metil grupları ve hidrojen atomları ters taraftadır. *cis*-1,3-dimetilsiklopentan ve *trans*-1,3-dimetilsiklopentanda metil grupları, halka düzleminin sırası ile aynı ve ters taraflarındadır. Alkenlerde çift bağ çevresindeki grupların birbirinden farklı olduğu durumlarda da geometrik izomerlik vardır. Bu yapıların isimlendirilmesinde (Z,E) sistemi uygulanmaktadır. Bu sistemde çift bağ oluşturan karbon atomlarının her birindeki büyük gruplar, π -düzleminin aynı tarafına düşüyorsa, izomer Z ters tarafına düşüyorsa, E'dir. 3-Metil-3-hepten, bu amaçla incelenebilir.

Alkenlerde geometrik izomerlik, Şekil 5'teki iki parça kartondan oluşan yapı ve toplu iğne sistemi (yani, birinci takım) ile modellendirilebilir. Birbirine sıvı yapıştırıcı ile sıkıca yapıştırılmış üç kat kartondan $7 \times 9 \text{ cm}^2$ ve $7 \times 7 \text{ cm}^2$ boyutlarında iki parça kesilir. Küçük parça, büyük parçanın ortasındaki ince delikten

geçirilir ve ortalayacak şekilde yerleştirilir. Böylece birbirine dik iki düzlem elde edilir. Düzlemlerin ara kesitine sıvı yapıştırıcı akıtılır ve kurumaya bırakılır. Ortadaki küçük karton π -düzlemini, büyük karton ise sp^2 hibrit orbitallerinin bulunduğu molekül düzlemini temsil etmektedir. Toplu iğneler, dıştaki büyük düzlemin köşelerine batırılarak model tamamlanır.



Şekil 5. Alkenleri Modellemek İçin Karton Parçalar

Bu modeller yolu ile, 2-butende, hidrojen atomları ve metil grupları, farklı renkte iğnelerle temsil edilerek, geometrik izomerlik gözler önüne serilir.

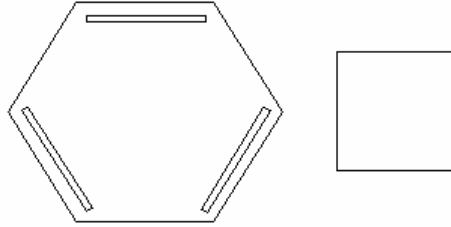
Sikloalkanların molekül modelleri de yine karton ve iğnelere meydana gelen birinci takım ile yapılabilir. Siklobutan karesel, siklopentan düzgün beşgen, sikloheksan düzgün altıgen kartonlar olarak düşünülmelidir. Sikloalkanlardaki hidrojen atomları ve diğer bağlı gruplar, toplu iğnelerle temsil edilir.

Sikloheksanın kayak ve koltuk konformasyonları da yine modeller ile somutlaştırılabilir. Farklı renkte toplu iğneler kullanılarak aksiyal ve ekvatoryal konumlar arasındaki fark vurgulanabilir. Bununla bağlantılı olarak monosakkaritlerin piranoz halkalarının α - ve β -anomerleri üzerinde durulabilir. α -D-Glukopiranoz birimlerinden oluşan nişasta ve glikojen ile β -D-glukopiranoz birimlerinden oluşan selülozun sağlamlıklarına, modeller üzerinde açıklamalar getirilebilir. Beşgen modeller ile de furanozlar modellendirilebilir. α -D-Glukopiranoz ve β -D-fruktofuranoz modelleri birleştirilerek hayatın içinden bir örnek olarak, çay şekerinin (sakkaroz) modeli yapılır.

Siklopentan yapısında, örneğin, 1,3-dimetilsiklopentanın geometrik izomerlerinde metil grupları bir renk, hidrojen atomları ise başka bir renkten toplu iğnelerle gösterilebilir. Ayrıca, *cis*-1,3-dimetilsiklopentanın simetri düzleminin varlığı, buna bağlı olarak optikçe inaktif olduğu; *trans*-1,3-dimetilsiklopentanın

simetri düzleminin olmadığı, buna bağlı olarak optikçe aktif olduğu, modellerle çok daha kolay anlaşılabilir.

Benzenin molekül modeli de yine ikinci grup malzemeler ile hazırlanabilir. Bunun için üç kat kartondan kenar uzunluğu 7 cm olan bir altıgen ve $5 \times 5 \text{ cm}^2$ boyutlarında üç tane karesel parça hazırlanır. Altıgenin üç kenarından birer atlayarak 5 cm uzunluğunda ince bir parça çıkarılır. Karesel parçalar, bu deliklere ortalayacak şekilde yerleştirilir. Bu hâli ile altıgen düzlemlerle karesel düzlemler, birbirine diktir. Düzlemlerin arakesitine sıvı yapıştırıcı damlatılır ve kurumaya bırakılır. Sonuçta benzenin molekül modeli olarak Şekil 6 elde edilir.



Şekil 6. Benzenin Molekül Modeli İçin Karton Parçalar

Kareler, π -düzlemlerini, altıgen ise sp^2 hibrit orbitallerinin bulunduğu düzlemi (yani, molekül düzlemini) temsil eder. Benzen molekülündeki karbon atomları, altıgenin köşelerindedir. Hidrojen atomlarını temsil eden plastik başlı toplu iğneler, altıgen düzlemde olacak şekilde köşelere batırılarak model tamamlanmış olur.

Sonuç ve Öneriler

Bu makalede, ucuz ve kolaylıkla sağlanabilir malzemeler kullanarak kimyasal maddelerin molekül modellerinin yapılması için yöntemler verilmiştir. Bu yöntemler, üniversitedeki öğretim elemanlarından ilköğretimdeki öğrencilere kadar geniş bir okuyucu kitlesine hitap etmektedir. Her ne kadar, çalışmanın başlığı molekül modelleri ile sınırlandırılmışsa da; bu çalışmada üçgen, kare, dikdörtgen, beşgen, altıgen, piramit, düzgün dörtyüzlü, düzgün sekizyüzlü gibi geometrik şekiller karton, küre ve hamurdan hazırlanmaktadır. Bunların her biri, geometrinin temel kavramlarıdır ve eğitimin her düzeyindeki kişilerin karşısına her zaman

çıkabilmektedir. Çalışma bu yönü ile, kimya/fen eğitimi çalışması olmasının yanında, aynı zamanda temel geometrik yapıların modellerinin verildiği bir matematik eğitimi çalışması niteliği de taşımaktadır. Molekül modellerinin nasıl yapılacağı, şekiller ile desteklenerek ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Buna rağmen, yöntemlerin anlaşılması okuyucuya zor gelebilir. Anlatılanların daha kolay anlaşılması, karton, hamur, toplu iğne, makas, pergel, cetvel, iletken gibi malzeme ve araçları kullanarak uygulama yapılması ile mümkün olacaktır. Ayrıca, modellerden kimya eğitiminde verim alabilmek için; moleküler geometri, kimyasal bağ, Lewis yapısı, simetri, simetri nokta grupları, organik bileşiklerin yapısı, geometrik izomerlik ve optik izomerlik, sikloalkanlarda konformasyonel analiz konularının öncelikli olarak anlaşılması gerekir. Modelleri biyokimya derslerinde kullanabilmek için, temel biyokimyasal yapıların (karbohidratlar, aminoasitler, lipitler, pürin ve pirimidin bazları ve nükleik asitler) bilinmesi gerekir. Konu, temel geometri bilgisi de gerektirdiğinden model yapımına geçmeden önce, okuyucunun en azından ilköğretim düzeyindeki geometri konularına bakması yararlı olabilir.

Kaynaklar

- Atasoy, B. (1996). *Atasoy Molekül Model Seti*. Taşkent Cad. No 68/16, Bahçelievler, Ankara.
- Ayas, A., Çepni, S., Johnson, D. ve Turgut, F. (1997). *Kimya Öğretimi*. Ankara: YÖK/Dünya Bankası Millî Eğitimi Geliştirme Projesi Hizmetöncesi Öğretmen Eğitimi.
- Battino, R. (1983). Giant Atomic and Molecular Models And Other Lecture Demonstration Devices Designed for Concrete Operational Students. *Journal of Chemical Education*, 60(6), 485–487.
- Bent, H.A. (1984). Uses (and abuses) of models in teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 61(9), 774–777.
- Cherif, A.A., Adams, G.E. and Cannon, C.E. (1997). Nonconventional Methods In Teaching Matter, Atoms, Molecules and The Periodic Table for Nonmajor Students. *The American Biology Teacher*, 59(7), 428–438.
- Driel, J. van and Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Teaching*, 21(11), 1141-1153.
- Erduran, S. (2001). Philosophy of Chemistry: An Emerging Field with Implications for Chemistry Education. *Science & Education*, 10(6), 581–593.

- Furio, C. and Calatayud, L. (1996). Difficulties with the Geometry and Polarity of Molecules—Beyond Misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 73(1), 36–41.
- Gillespie, R.J. (1963). The Valence–Shell Electron–Pair Repulsion (VSEPR) Theory of Directed Valency. *Journal of Chemical Education*, 40(6), 295–301.
- Gillespie, R.J. (1970). The Electron–Pair Repulsion Model Molecular Geometry. *Journal of Chemical Education*, 47(1), 18–23.
- Gillespie, R.J. (1974). A Defence of The Valence–Shell Electron–Pair Repulsion (VSEPR) Model. *Journal of Chemical Education*, 51(6), 367–370.
- Gillespie, R.J. (1997). The Great Ideas of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 74(7), 862–864.
- Gülçipek, Ç., Bağcı, N. ve Moğol, S. (2003). Öğrencilerin Atom Yapısı–Güneş Sistemi Pedagojik Benzeştirme (Anoloji) Modelini Analiz Yeterlilikleri. *Millî Eğitim Dergisi*, 159, <http://yayim.meb.gov.tr/dergiler/159/gulcicek-bagci-mogol.htm> (25 Temmuz 2006).
- Harrison, A.G. and Treagust, D.F. (1996). Secondary Students’ Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry. *Science Education*, 80(5), 509–534.
- Harrison, A.G. and Treagust, D.F. (1998). Modelling In Science Lessons: Are There Better Ways to Learn with Models? *School Science and Mathematics*, 98(8), 420–429.
- Hurwitz, C.L., Abegg, G., Garik, P. and Nasr, R. (2001). High School Students’ Understanding of the Quantum Basis of Chemistry. Home Page of “The Quantum Science Across Disciplines.” <http://qsad.bu.edu/ed/ElementsofUnderstanding.pdf> (11 Kasım 2003).
- Kuo, M–T., Jones, L.L., Pulos, S.M. and Hyslop, R.M. (2004). The Relationship of Molecular Representations, Complexity, and Orientation to the Difficulty of Stereochemistry Problems. *The Chemical Educator*, 9(5), 321–327.
- Meyer, G.G. (2005). *A Study of How Precursor Key Concepts for Organic Chemistry Success Are Understood By General Chemistry Students*. Ph.D. dissertation. Kalamazoo, Michigan: Mallinson institute for Science Education, Western Michigan University.

- Mortimer, C.E. (1979). *Chemistry—A Conceptual Approach*, 4th ed. New York: D. Van Nostrand Co.
- Nakiboğlu, C. (2003). Instructional Misconceptions of Turkish Prospective Chemistry Teachers About Atomic Orbitals and Hybridization. *Chemistry Education: Research and Practice*, 4(2), 171–188.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington: National Academy Press.
- Peterson, R.F. and Treagust, D.F. (1989). Grade–12 Students' Misconceptions of Covalent Bonding and Structure. *Journal of Chemical Education*, 66(6), 459–460.
- Peterson, R.F., Treagust, D.F. and Garnett, P. (1989). Development and Application of A Iagnostic Instrument to Evaluate Grade–11 and –12 Students' Concepts of Covalent Bonding and Structure Following A Course of Instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(4), 301–314.
- Purser, G.H. (1999). Lewis Structure Are Models for Predicting Molecular Structure, Not Electronic Structure. *Journal of Chemical Education*, 76(7), 1013–1018.
- Sarıkaya, M. (1992). Pi Bağı Sayısı İle Lewis Yapısı, Hibritleşme Tipi, Hibrit Orbitallerinin Düzeni ve Molekül Şekli Arasındaki İlişki. *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 8(4), 217–230.
- Sarıkaya, M. (1995). A New Method for the Determination the Unsaturation Number and π -Bond Number. *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11(3), 165–168.
- Streitberger, H.E. (1994). Modelling molecules. *The Science Teacher*, 61(9), 46–48.
- Tuckey, H., Selvaratnam, M. and Bradley, J. (1991). Identification and Rectification of Student Difficulties Concerning Three–Dimensional Structures, Rotation, and Reflection. *Journal of Chemical Education*, 68(6), 460–464.
- Wu, H–K and Shah, P. (2004). Exploring Visuospatial Thinking In Chemistry Learning. *Science Education*, 88(5), 465–492.
- Yılmaz, A. ve Morgil, İ. (2001). Üniversite Öğrencilerinin Kimyasal Bağlar Konusundaki Kavram Yanılgılarının Belirlenmesi. *H.Ü. Eğitim Fakültesi Dergisi*, 20, 172–178.

*Summary***MAKING THE MOLECULAR MODELS FROM EASILY OBTAINABLE MATERIALS****Mustafa SARIKAYA ***

In order to comprehend the chemical and physical properties of chemical substances, firstly it is needed to understand their three-dimensional structures (that is, their molecular geometries). However, research literature shows that prospective chemistry teachers have difficulties related to the subject. The reason might be that molecules are entities not directly perceived by the sense organs. Moreover, to imagine the three-dimensional structures and draw the three-dimensional structures on paper or board plane, other difficulties are. By making the models of very small structures like molecules, they can be transformed a visual shape. Chemistry educators, in fact, have been aware of the molecular modelling in chemistry education since a long time. For this purpose, they have thrown the molecule model sets made of plastic on the market. These products might be either expensive or unobtainable or both. However, everyone in chemistry can make his/her molecular model by using cheap and easily obtainable materials. In this study, the construction of the models of all inorganic species (molecules, ions, complexes) whose central atoms have the types “sp, sp², sp³, dsp³, d²sp³, dp³ and dsp²” of the hybridisation and many organic molecules (alkynes, allenes, alkenes, alkanes, cycloalkanes, pyranoses, furanoses, benzene) by using cheap and easily obtainable materials (carton paper, play-dough and pin with plastic-head) is explained.

The molecular models can facilitate the understanding of symmetry operations, symmetry elements and symmetry point groups in organic and inorganic species. Again, determining the configurations of organic molecules in the system (D,L) and (R,S) and understanding the geometrical (cis-trans) and optical isomerism are much more through the models. Also, the facts that the π - and σ -bonds are

Addresses for correspondence: * Asst. Prof. Dr. Mustafa Sarıkaya, Gazi University Gazi Faculty of Education Department of Elementary Education Science Education Programme, Teknikokullar/Ankara, Turkey, sarikaya@gazi.edu.tr

planar and linear structures, respectively, are transformed a visual shape through the models. The reactive centres in a molecule can be easily seen on the models. One can also have an idea about the dipole moment and polarity of the molecule by simply making its molecular model.

In order to make the molecular models of substances whose central atoms have the sp type of the hybridisation, two rectangular carton parts in Figure 1a are used. When attached to each other in their cut places, two planes perpendicular to each other are obtained. The system represents two π -planes. While the central atoms are represented with balls made of play-dough, the ligands and the nonbonding orbitals are represented by pin with plastic-head.

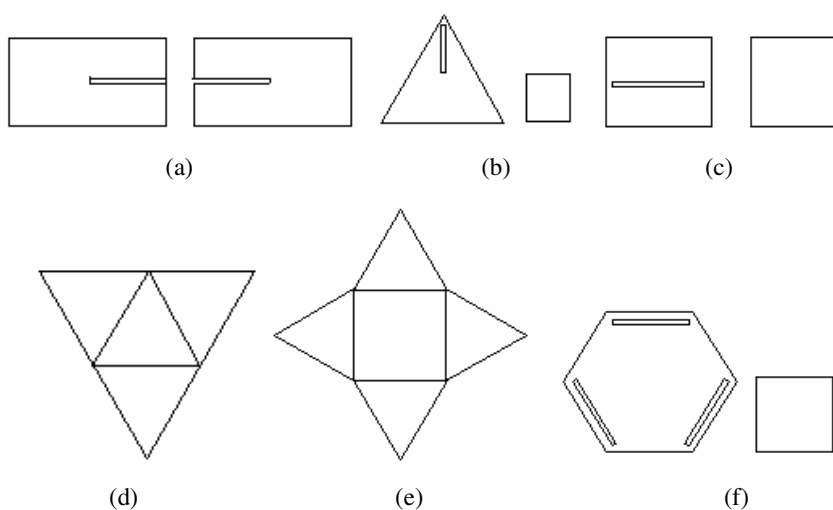


Figure 1. Carton parts used for the molecular models: (a) carton parts representing the π -planes in the sp hybridisation, (b) first carton parts for the molecular models in the sp^2 hybridisation, (c) second carton parts for the molecular models in the sp^2 hybridisation, (d) carton part to prepare the tetrahedron, (e) carton part to prepare the octahedron and (f) carton parts for the molecule model of benzene

An equilateral triangular carton part and a rectangular carton part in Figure 1b are used in order to make the molecular models of substances whose central atoms have the sp^2 type of the hybridisation. When the rectangular part is placed in the hole in the triangular part, two planes perpendicular to each other are obtained. The triangular and rectangular planes represent the molecule plane and the π -plane, respectively. Either the central atoms are supposed at the centre of triangle or they are represented by balls made of play-dough. The ligands and the nonbonding orbitals are represented by pins with plastic-head. The molecular models of substances whose central atoms have the sp^2 type of the hybridisation can be made also from the carton parts in Figure 1c. When the smaller rectangular part is placed in the hole in the larger rectangular part, two planes perpendicular to each other are obtained. The larger and smaller rectangular parts represent the molecule plane and π -plane, respectively. The central atoms are imagined at the points which the intersection of two planes begins and ends. The ligands and the nonbonding orbitals are at the corners of the larger rectangular part and they are represented by pin with plastic-head.

In order to make the molecular models of substances whose central atoms have the sp^3 type of the hybridisation, a carton part consisted of four equilateral triangular regions in Figure 1d are used. When the corners of triangles on the outer side are connected to each other, a tetrahedron shape is obtained. While the central atom is imagined at the centre of the three-dimensional shape, the ligands and the nonbonding orbitals are on the corners and they are represented by pin with plastic-head.

In order to make the molecular models of substances whose central atoms have the sp^3d type of the hybridisation, first two like the tetrahedral model in Figure 1d are prepared and then a trigonal bipyramid is obtained by sticking them to each other's face. While the central atom is imagined at the centre of the trigonal bipyramid shape, the ligands and the nonbonding orbitals are on the corners and they are represented by pin with plastic-head.

In order to make the molecular models of substances whose central atoms have the sp^3d^2 type of the hybridisation, a carton part which consists of four equilateral triangular regions and a square region in Figure 1e is used. When the corners of triangles on the outer side are connected to each other, a square pyramid shape is obtained. In order to make an octahedral structure, first two square pyramids are prepared and then by sticking the square face of a square pyramid to other's square face, the octahedron shape is obtained. While the central atom is

imagined at the centre of the octahedron shape, the ligands and the nonbonding orbitals are on the corners and they are represented by pin with plastic-head.

The molecular models of substances whose central atoms have the d^3s and dsp^2 types of the hybridisation are made of a tetrahedron (Figure 1d) and a square carton paper, respectively. Cycloalkanes and the pyranose and furanose rings of the monosaccharides are prepared from again carton papers.

A hexagonal carton part and three square carton parts in Figure 1f are used to make the molecular model of benzene. When each of the square parts is placed in the hole on the hexagonal part, planes perpendicular to each other are obtained. The hexagonal plane and the square planes represent the molecule plane and the π -planes, respectively. While the carbon atoms are imagined at the corners of the hexagonal shape, the hydrogen atoms are represented by pin with plastic-head.

As a result, in this study, the construction of the molecule models of all inorganic species whose central atoms have the types “ sp , sp^2 , sp^3 , dsp^3 , d^2sp^3 , dp^3 and dsp^2 ” of the hybridisation and many organic molecules by using cheap and easily obtainable materials (carton paper, play-dough and pin with plastic-head), the methods is explained. Thus, people in chemistry (students, teachers, instructors) make the molecular models by themselves through these methods and they easily learn and teach a difficult topic. In addition, students and teachers in mathematics easily learn the basic geometric concepts through the models of geometric shapes in the molecular models.