



## Periyodik Yasa-Sistem İlişkisi Nasıl Kurulmalıdır? Kimya Öğretimine Bilim Tarihi ve Felsefesinden Çıkarımlar\*

### How to Establish Periodic Law and Periodic System Relation? Inferences in the History and Philosophy of Science for Chemistry Teaching

Davut SARITAŞ\*\*, Yüksel TUFAN\*\*\*

• Geliş Tarihi: 30.09.2017 • Kabul Tarihi: 20.09.2018 • Yayın Tarihi: 31.01.2019

**Kaynakça Bilgisi:** Sarıtaş, D., & Tufan, Y. (2019). Periyodik yasa-sistem ilişkisi nasıl kurulmalıdır? Kimya öğretimine bilim tarihi ve felsefesinden çıkarımlar. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 34(1), 27-53. doi: 10.16986/HUJE.2018043649

**Citation Information:** Sarıtaş, D., & Tufan, Y. (2019). How to establish periodic law and periodic system relation? Inferences in the history and philosophy of science for chemistry teaching. *Hacettepe University Journal of Education*, 34(1), 27-53. doi: 10.16986/HUJE.2018043649

**ÖZ:** Elementlerin toplu olarak gösterildiği periyodik tablo elementleri tanımda bir giriş niteliğindedir ve kimya eğitimi açısından da önemlidir. Dünya genelinde birçok kimya öğretim programında periyodik tablonun etkili kullanımı kazanım temelinde amaçlanmaktadır. Ancak periyodik tablonun özellikleri dikkate alındığında bunları karşılayacak bir kullanım yolu veya yöntemine ilgili literatürde rastlamak mümkün değildir. Bu nedenle bu çalışmada amaç lise kimya ders kitaplarında pek rastlanmayan yönleri ile periyodik tablonun doğasına dikkatleri çekmek ve bu doğanın kimya eğitimi açısından avantaj olduğu düşüncesine bir kapı aralamaktır. Bu amaçla öncelikle periyodik tablonun tarihsel gelişim süreci ve bu günkü durumuna kısaca değinilmiş ve felsefi açıdan periyodik yasa, periyodik sistem, periyodik tablo kavramları irdelenmiştir. Ardından periyodik tablonun tarihsel gelişim sürecinin metodolojik ve epistemolojik yönleri ışığında özellikle periyodik tablonun etkili kullanımı için periyodik yasa ve periyodik sistem ilişkisi kimya eğitimi bağlamında tartışılmıştır. Bu tartışmada periyodik sistemin etkili kullanılması için doğası ile uyumlu olabilecek bir çıkarım türü olarak hipotetik-dedüktif yöntemine dikkat çekilmiş ve son olarak oluşturulan bağlamda kimya eğitimine yönelik bazı önerilere yer verilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Kimya eğitimi, kimyasal bilginin doğası, hipotetik-dedüktif yöntem, bilim tarihi ve felsefesi, periyodik yasa ve periyodik sistem ilişkisi

**ABSTRACT:** The periodic table is an introduction to the elements and is important in terms of chemistry education. In many chemistry teaching programs around the world, effective use of periodic table is aimed. However, considering the characteristics of the periodic table, it is not possible to encounter with a way or a method to use them in the literature. For this reason, the aim of this study is to draw attention to the nature of the periodic table, and to open a door to think that this nature is advantageous in terms of chemistry education. For this purpose, the historical development and present situation of the periodic table are briefly mentioned and the concepts of periodic law, periodic system and periodic table are analyzed from a philosophical point of view. Afterwards, in the light of the methodological and epistemological aspects of the historical development of the periodic table, periodic law and periodic system relations is discussed in the context of the chemistry education for the effective use of periodic table. In this discussion, the hypothetical-deductive method was pointed that might be compatible for the effective use of the periodic system, and some suggestions for chemistry education have been given.

\* Bu makale; Prof. Dr. Yüksel TUFAN danışmanlığında Davut SARITAŞ tarafından hazırlanan “Periyodik Sistemin Öğretim Sürecinde Oluşan Rasyonel Bilginin; Üretimi, Epistemolojisi ve Metodolojisi” isimli doktora tezinin kavramsal çerçevesinin geliştirilmesi ile elde edilmiştir.

\*\* Dr. Öğr. Üyesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Fen Bilgisi Eğitimi Ana Bilim Dalı, Nevşehir-TÜRKİYE. e-posta: [davutsaritas@gmail.com](mailto:davutsaritas@gmail.com) (ORCID: 0000-0002-5108-4801)

\*\*\* Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Kimya Eğitimi Ana Bilim Dalı, Ankara-TÜRKİYE. e-posta: [ytufan@gazi.edu.tr](mailto:ytufan@gazi.edu.tr) (ORCID: 0000-0003-3296-0228)

**Keywords:** Chemistry education, nature of chemistry knowledge, hypothetical-deductive method, history and philosophy of science, periodic law and periodic system relation

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda Fen eğitiminde bilimin felsefi ve tarihsel önemine çokça vurgu yapılmaktadır (örn. Niaz 2016; Matthews 2015). Bu bağlamda kimyanın kendine has doğasını ve diğer alanlar ile ilişkisini inceleyen kimya felsefesinin kimya eğitimine olası katkılarına dikkat çekilmekte ve özellikle kimyaya özgü epistemolojinin kimyasal bilginin doğasının anlaşılmasına katkı sağlayacağı vurgulanmaktadır (örn. Erduran, Aduriz ve Naaman, 2007; Scerri, 2001). Ayrıca son on yıl içerisinde geliştirilen kimya öğretim programları incelendiğinde de kimyasal bilginin kendine has doğasının öne çıktığı söylenebilir (örn. Milli Eğitim Bakanlığı [MEB],2013;2017). Periyodik tablo ise kimyasal bilginin söz konusu doğasını yansıtan en tipik örnekler arasında kabul edilmekte ve kimya eğitiminde alana özgü yaklaşım açısından önemli bulunmaktadır. Diğer taraftan genel anlamda bilimin doğasını (Nature of Science) yansıtan bütünsel bilim imgelerinden birisi olarak nitelendirilmektedir (Erduran, 2017;2007).

Periyodik tablo ile ilgili olarak birçok öğretim programında öne çıkan vurgu tablonun öğrenciler tarafından etkin kullanılmasıdır (Aydm,2008). Ancak literatürde *periyodik tablonun doğası* dikkate alınarak önerilmiş belirli bir kullanım yöntemine rastlamak pek mümkün değildir. Konun doğasının anlaşılması için öncelikle tarihsel gelişim sürecine kısaca değinmek ve günümüzdeki durumuna bakmak gereklidir.

### 1.1. Kısa Tarihsel Gelişim

Periyodik tablonun bu günkü hale gelmesi, modern element kavramının tarihsel gelişimi ile birlikte düşünüldüğünde uzun bir süreçtir. Şüphesiz sayısız bilim insanının doğrudan veya dolaylı olarak katkıları olan bu sürecin, elementler hakkında skolastik anlayışın dışına çıkan kimyacı Boyle'un araştırmaları ile başladığı söylenebilir. İlk defa 1661'de yayımlanan "*Sceptical Chemist*" kitabında, Boyle (2003), elementlerin atom teorisini destekleyen deneysel bulgulara atıf yaparak günümüz element anlayışının ilk adımını atmıştır. Ardından, Lavosier, Cavendish gibi bilim insanlarının maddelerin yapı taşları üzerine yaptıkları çalışmalar sonucunda, element kavramı değişime uğramış, Democritos gibi ilk çağ atomcu felsefecilerin görüşlerinin Dalton'un çalışmalarında bilimsel bir kabul haline gelmesi, element ve atom ilişkisini öne çıkarmıştır. Ardından Berzelius ve Cannizzoro'un atom ağırlığı kavramına ilişkin açıklayıcı çalışmaları atom ağırlıklarının elementlere karakteristik özellikler kazandırdığını ortaya koymuştur (Hall, 1968; Scerri, 2007).

Element ve atom ilişkisi ile şekillenen yeni element kavramının gelişimine ile birlikte kimyacıların, elementleri sınıflandırma girişimleri olmuştur. Atom ağırlığına dayalı ilk deneme 1817 de, triadlar olarak üçlü element gruplarını ortaya koyan Döberiner'e aittir (Scerri, 2007). Ancak asıl etkili gelişmeler, 1860 yılında Karlsruhe'deki uluslararası kimya kongresinden sonra ortaya çıkmıştır. Kongre sonucunda vurgulanan, kimyanın temel kavramlarının tanımlanmasına yönelik genel bildiri sonrasında, elementlerin sınıflandırılmasına ilişkin yapılanlar kronolojik olarak şu şekilde özetlenebilir (van Spronsen,1969, aktaran Brito, Rodrı'guez, ve Niaz, 2005);

1. Elementlerin özelliklerinin atom kütleleri ile ilişkisini ilk ortaya koyan kişi 1862 de De Chancourtois dir. Sarmal bir grafik sistemi üzerinde yaptığı periyodik dizilişi sunmuştur.
2. Odling,1864'deki Karlsruhe kongresinde 57 elementi artan atom ağırlıklarına göre sırlamasını sunmuştur.
3. Meyer,1864'deki Karlsruhe kongresinde bir ders kitabının bir parçası olarak hazırladığı bir dizi periyodik tabloyu sunmuştur (Meyer tablosunu; atom teorisi ve Avagadro hipotezi üzerine kurmuştur.)

4. Newlands, 1865 de, her dizi yedi elementten sonra tekrar elementlerin belirli özellikleri tekrarlamasına dayanan oktavlar prensibini ortaya atmıştır.
5. Hinrichs, 1866 yılında atomların spektral özelliklerine göre elementlerin periyodik bir ilişkisi olduğunu belirtmiştir.
6. Mendeleev, 1869 yılında kendi periyodik tablosunu geliştirdi.

### 1.1.1. Mendeleev ve periyodik tablo

Periyodik tablonun tarihsel gelişimi denildiğinde ilk akla gelen kişi Mendeleev'dir. Bunun sebebi, elementleri kütle numaralarına göre yaptığı sınıflamada henüz keşfedilmemiş bazı elementlere ve yine onların olası bazı özelliklerine ilişkin ön deyilerinin büyük ölçüde gerçekleşmiş olması ve ortaya çıkardığı dizilişin genel yapısının bu günkü tablonun temelini oluşturmasıdır (Bensaude, 1986).

**Tablo 1: Eka-alüminyum (galyum) un mendeleev tarafından öngörülen ve deneysel olarak gözlemlenen özelliklerinin karşılaştırılması**

Özellik	Eka-Alüminyum (1869)	Galyum (1875)
Bağıl atom kütlesi	68	69,9
Yoğunluk	5.9 g/cm <sup>3</sup>	5.94 g/cm <sup>3</sup>
Oksidinin formülü	Ea <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ge <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Erime noktası	Düşük	29,78 °C

(Kaynak: Chang ve Goldsby, 2014, s. 329)

Series.	GROUP I. R <sub>2</sub> O.	GROUP II. RO.	GROUP III. R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	GROUP IV. RH <sub>4</sub> . RO <sub>2</sub> .	GROUP V. RH <sub>3</sub> . R <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .	GROUP VI. RH <sub>2</sub> . RO <sub>3</sub> .	GROUP VII. RH. R <sub>2</sub> O <sub>7</sub> .	GROUP VIII. RO <sub>4</sub> .
I .....	K=1							
2 .....	Li=7	Be=9.4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3 .....	Na=23	Mg=24	Al=27.3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35.5	
4 .....	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Ce=59 Ni=59, Cu=63
5 .....	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6 .....	Rb=85	Sr=87	? Y=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=101, Rh=104 Pd=106, Ag=108
7 .....	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=116	Sb=122	Te=125	I=127	
8 .....	Cs=133	Ba=137	? Di=138	? Ce=140	....	....	....	....
9 .....	....	....	....	....	....	....	....	....
10 .....	....	....	? Er=178	? La=180	Ta=182	W=184	....	Os=195, In=197 Pt=198, Au=199
II .....	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	....	....	
12 .....	....	....	....	Th=231	....	U=240	....	....

(Kaynak: Scerri, 2007, s. 111)

### Şekil 1.1. Mendeleev'in periyodik tablosu

Mendeleev'in elementlerin periyodik tablosuna ilişkin görüşlerini şu şekilde özetlemek mümkündür (Bensaude, 1986);

1. Elementler atom ağırlıklarına göre düzenlendiğinde, özellikleri belirgin bir periyodiklik sergilerler.
2. Atom ağırlığı birbirine yakın elementler veya düzenli artış gösteren elementler kimyasal özellikleri bakımından benzerdirler.

3. Elementlerin atom ağırlıklarına göre düzenlenmesi veya grupları; valanslarının, yani sıra bir ölçüde diğer gruplardan bariz olarak farklı olan ayırt edici kimyasal özelliklerine karşılık gelir.
4. Bir molekülün büyüklüğü bileşiğin karakterini belirlediği gibi, atom ağırlığının büyüklüğü de elementin karakterini belirler.
5. Henüz bilinmeyen birçok elementlerin keşfini beklemek gerekir.

Mendeleev oluşturduğu periyodik tablonun temelinde dayandığı yasayı şu şekilde ifade etmiştir;

*Basit cisimlerin özellikleri, onların bileşiklerinin yapısı ve nihai özellikleri elementlerin atomların ağırlıklarının periyodik bir fonksiyonudur (aktaran Hendry, 2012a, s.260).*

### 1.1.2. Mendeleev sonrası gelişmeler

Mendeleev sonrasında özellikle atom numaralarının belirlenmesi periyodik tablonun bugünkü şeklini almasında en büyük etkidir. Bu süreçte Van den Broek, Mendeleev'in periyodik tablodaki sıralama numaralarının yaklaşık olarak atom kütesinin yarısına denk gelen çekirdek yüküne yakınlığını ( $Z \approx A/2 = \text{atom numarası}$ ) ilk vurgulayan kişidir. Ardından X-ışınları spektrumlarının elementlerde karakteristik olduğunu dikkate alan Moseley bilinen spektrumları ile çekirdek yükleri arasındaki ilişkiden faydalanarak elementlere ilişkin ardışık bir tam sayı elde etmiştir. Çekirdek yüküne veya atom numarasına karşılık gelen bu sayıya göre (Z) elementlerin periyodik tabloya yerleştirmesi gündeme gelmiştir. Bu şekilde günümüzdeki tablo büyük ölçüde şekillenmiştir. Bu arada Mendeleev'in ifade ettiği yasa ve içeriği değişmiş periyodikliğin nedenin atom numaralarından kaynaklandığına ilişkin genel bir kabul oluşmuştur. Buna bağlı ilk periyodik tablo Ladenburg tarafından 1920 yılında ortaya konulmuştur (Brito ve diğerleri, 2005). Oluşan genel yapıda en köklü değişim Seoborg'un trans-uranyum serisine yeni elementleri katması ile olmuştur (Scerri, 2007). Son güncelleme de ise 118. elementin keşfi ile yedinci satır tamamlanmıştır (Karol, Barber, Sherrill, Vardaci ve Yamazaki, 2016)

### 1.2. Günümüz Periyodik Tablosu ve Farklı Olan Doğası

Günümüze gelindiğinde periyodik tablo, 2016 de IUPAC, tarafından yapılan son güncellemelere göre; 18 grup ve 7 periyottan oluşmaktadır. Üzerinde, 118 elementin sembolü vardır. Periyodik tablodaki gruplar normal sayılarla 1'den 18'e kadar numaralandırılmaktadır.

IUPAC Periodic Table of the Elements																													
1 H hydrogen 1.008, 1.0062																	2 He helium 4.0026												
3 Li lithium 6.94	4 Be beryllium 9.0122	Key: atomic number Symbol name conventional atomic weight standard atomic weight										5 B boron 10.81	6 C carbon 12.01	7 N nitrogen 14.01	8 O oxygen 15.999, 16.000	9 F fluorine 18.998	10 Ne neon 20.180												
11 Na sodium 22.990	12 Mg magnesium 24.304, 24.307											13 Al aluminum 26.982	14 Si silicon 28.086, 28.086	15 P phosphorus 30.974	16 S sulfur 32.06, 32.07	17 Cl chlorine 35.446, 35.457	18 Ar argon 39.948												
19 K potassium 39.098	20 Ca calcium 40.078(4)	21 Sc scandium 44.956	22 Ti titanium 47.887	23 V vanadium 50.942	24 Cr chromium 51.996	25 Mn manganese 54.938	26 Fe iron 55.845(2)	27 Co cobalt 58.933	28 Ni nickel 58.693	29 Cu copper 63.546(3)	30 Zn zinc 65.38(2)	31 Ga gallium 69.723	32 Ge germanium 72.630(8)	33 As arsenic 74.922	34 Se selenium 78.971(8)	35 Br bromine 79.904	36 Kr krypton 83.798(2)												
37 Rb rubidium 85.468	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.906	40 Zr zirconium 91.224(2)	41 Nb niobium 92.906	42 Mo molybdenum 95.95	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium 101.07(2)	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.60(3)	53 I iodine 126.90	54 Xe xenon 131.29												
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.49(2)	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23(2)	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.08	79 Au gold 196.967	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium 204.38, 204.39	82 Pb lead 207.2	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon												
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	113 Nh nihonium	114 Fl flerovium	115 Mc moscovium	116 Lv livermorium	117 Ts tennessine	118 Og oganeson												
57 La lanthanum 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.91	60 Nd neodymium 144.24	61 Pm promethium 144.91	62 Sm samarium 150.36(2)	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25(3)	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97	89 Ac actinium 227.04	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uranium 238.03	93 Np neptunium 237.05	94 Pu plutonium 244.06	95 Am americium 243.06	96 Cm curium 247.07	97 Bk berkelium 247.07	98 Cf californium 251.08	99 Es einsteinium 252.08	100 Fm fermium 257.10	101 Md mendelevium 258.10	102 No nobelium 259.10	103 Lr lawrencium 260.10

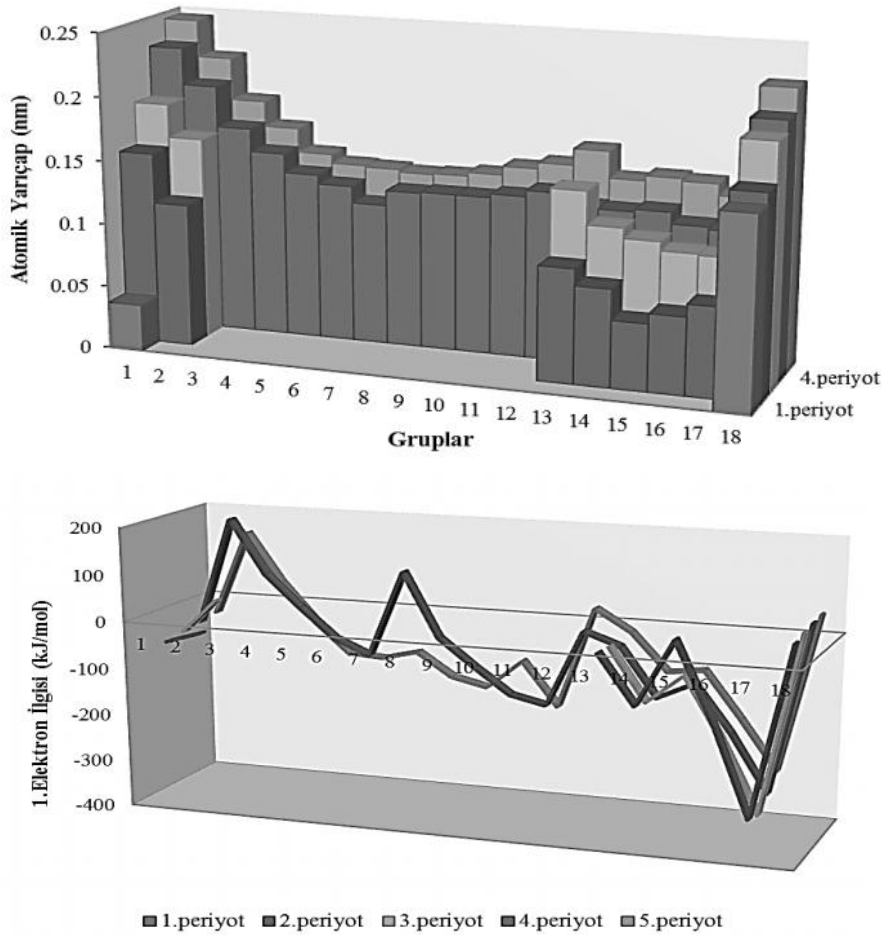
(Kaynak: IUPAC,2016)

### Şekil 1.2. Günümüz periyodik tablosu

Periyodik tabloda elementler atom numaralarına göre periyotlarda, benzer özelliklere göre de dikey gruplarda sıralanmaktadır (Chang ve Goldsby,2014). Periyodik tablonun en önemli özelliği **periyodiklik**; periyotlar boyunca değişim gösteren özelliklerin farklı periyotlarda aynı gruba gelindiğinde yaklaşık olarak kendini tekrar etmesinin gözlenmesidir. Bu şekilde hem periyot boyunca bir değişim (*periyodik eğilimler*) hem de gruplarda benzer ama grup boyunca değişim gösteren özellikler (*grup özellikleri*) görülür. Bu özellikler atom yarıçapı gibi parçacık özellikleri olabildiği gibi, metalik karakter gibi yığın özelliği de olabilir. Ayrıca asitlik-bazlık gibi kimyasal özelliklerin yanı sıra iletkenlik gibi fiziksel özellikler de ifade edilmektedir. Bilindiği üzere bunlar ders kitaplarında daha çok genellemeler ile verilmektedir (örn. MEB,2009). Periyodik tabloda genelmiş özellikler çok düzenli değildir, anomaliler ve sapmalar içerir. Ayrıca bunların dışında farklı ilişki eğilimleri de vardır.

### 1.2.1. Genel eğilimlerden sapmalar

*Periyodik eğilimlerin* değişiminde düzensizlik oluşturan anomalilere rastlamak mümkündür. Bunlara ders kitaplarında ağırlıklı verilen özelliklerden örnekler verilebilir.



(değerler Tunalı ve Özkar, 1997'dan alınmıştır)

### Şekil 1.3. Atomik yarıçapın ve 1.elektron ilgisinin periyotlardaki değişimi

Şekil 1.3'de verilenlerin dışında fiziksel birçok özellikte de düzenli bir değişimden bahsetmek mümkün değildir. Erime noktası ve ısı iletkenliği bu duruma örnek verilebilir.

**Tablo 2: 3. Periyotta bulunan bazı elementlerin erime noktası ve ısı iletkenliğindeki değişim**

	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
Erime N.(C°)	98	650	660	1414	44	115	-102
300K deki ısı iletkenliği (W cm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	1,4	1,56	237	1,48	2,3.10 <sup>-3</sup>	2,7.10 <sup>-3</sup>	8,9.10 <sup>-5</sup>

(Kaynak: MEB, 2009, s.100)

Tabloda verilen üçüncü periyot sıralamasını oluşturan elementlerde erime noktası ve ısı iletkenliğindeki değişimde belirli bir düzen söz konusu değildir.

*Grup özelliklerinde* de anomaliler ve benzemezlikler görülmektedir. Örneğin, 1. grup elementlerinde oksitleri suda kuvveti baz özelliği gösterirken, 2. grupta *Be*, amfoter, diğerleri baziktir. Benzer şekilde ısı ile etkileşimlerinde LiOH, Li<sub>2</sub>O ve H<sub>2</sub>O ya ayrışırken ve NaOH' bu tepkimeyi vermez. Yine 3. grupta Alüminyum hidrürleri polimer yapısında oldukları halde, Bor hidrürler uçucu bileşikleridir (Tunalı ve Özkar, 1997).

### 1.2.2. Periyodik tabloda farklı ilişkiler

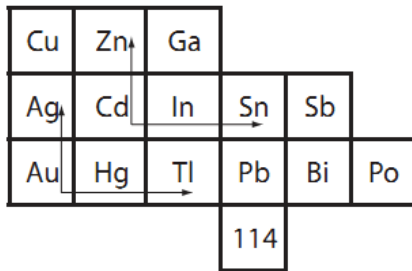
Periyodik sistemde elementler arasındaki kimyasal özellikler açısından grup ve periyot eğilimleri dışında çok farklı ilişkilere de rastlamak mümkündür (Rayner-Canham ve Overton, 2002; Rayner-Canham,2000; Laing, 2001; Scerri, 2007). Bunlar şu şekilde özetlenebilir;

**Tekillik Prensibi** (Singularity Principle) veya **İlk Üye Anomalisi** (First-Member Anomaly); ilk grup üyelerinin özellikleri diğer grup üyelerinden belirgin farklılıklar gösterirler. Örneğin, oksijen ve florun diğer grup üyelerinden farklılıkları gibi.

**Köşegen İlişkisi** (Diagonal Relationships); periyodik sistemdeki elementlerin bir alt periyotta sağ alt köşelerinde bulunan elementler ile kimyasal özelliklerinde benzerlikler söz konusudur. Bu genellikle 2. ve 3. Periyot elementleri arasında görülür. Bu ilişkide örneğin, Be'un özellikleri aynı grupta bulunduğu Mg dan daha çok bir sonraki gruptan Al ile benzerlik gösterir.

**İkincil Periyodiklik** (Secondary periodicity); periyodik sistemde herhangi bir periyotta (n) bulunan bir elementin kendi grubundaki elementlerden, kendisini takip eden ikinci (n+2) periyottaki element ile olan benzerliği diğerlerine göre daha fazladır. Örneğin; aynı grupta bulunan B ve Ga ile C ile Ge benzerliği gibi.

**Knight Hareketi** (Knight's move); n grubunda ve m periyodundaki bir elementin n+2. grup, m+1. periyottaki elementle olan yükseltgenme basamaklarındaki benzerliğidir.



(Kaynak: Scerri,2007, s.273)

### Şekil 1.4. Knight hareketi

**10 Grup Farkı Benzerliği** (Similarities between Group (n) and Group (n + 10)); aralarında 10 grup farkı bulunan bazı elementlerde görülen benzerliktir. Bunların en tipik örneği

Zn ve Mg'dur. Benzer şekilde  $TiCl_4$  ve  $SnCl_4$  bileşikleri de kimyasal ve fiziksel bir çok özellik açısından benzerdir.

### 1.2.3. Benzerlik ölçütüne göre elementlerde küme analizi ve farklı gruplandırmalar

Tarihsel süreçte elementlerin sınıflandırılmasında yapılan şey çoğunlukla benzerliklerden yola çıkarak belli kümeler elde etmektir. Özellikle Mendeleev'in metoduna farklı bir açıdan küme teorisi olarak bakmak mümkündür. Mendeleev'in yaklaşımının temelini de oluşturan gruplandırma periyodik sistemin en önemli özelliklerinden birisidir. Matematikçi ve kimyacıların elementlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine yönelik olarak yaptıkları topolojik ("chemotopologic", Restrepo ve Pachón, 2007, s.4) çalışmalarındaki küme analizlerinden elde edilen sonuçlar oldukça ilgi çekicidir (Restrepo, Mesa, Llanos ve Villaveces, 2004). Küme analizini kabaca; belirli kriterlere göre objelerin benzerliklerinden yola çıkarak kümeler oluşturmaya dayanan bir yöntem olarak tanımlamak mümkündür. Bu tür çalışmalardan elde edilen bazı önemli sonuçlar şu şekilde ifade edilmektedir (aktaran Restrepo ve Pachón, 2007); Zhou ve diğ. (2000), yedi fiziksel özellik üzerinden ilk 50 element ( $Z=1-50$ ) ile yaptıkları bir çalışmada elementlerin benzerliklerine göre oluşan bazı kümeler şunlardır:

$\{Co, Ni, Fe, Rh, Ru\}$ - $\{Mo, Tc\}$ -  $\{Sc, Y, Ti\}$ - $\{Ga, In, Sn\}$ - $\{N, O, F, H\}$ - $\{Cl, Br\}$ - $\{Zn, Cd\}$ - $\{Ar, Kr, Ne, He\}$ - $\{Mg, Ca\}$ - $\{Li, Na, K, Rb\}$ - $\{Cu, Ag\}$ - $\{B, C\}$

Bu kümelerin birçoğunun periyodik sistemin gruplarından oldukça farklı olduğu görülmektedir. Örneğin; soygazlar ve alkali metaller (18 ve 1 grup) uygun bir şekilde ortaya çıkmış iken, F ve H'in O ve H ile benzerliği (5) gibi, diğer (12,3 gibi) kümeler mevcut periyodik sistemdeki gruplandırmalara uyumlu değildir.

Hem element sayısı ( $Z=1-83$ ,  $Z=58-71$  arası atlanarak, 69 element) hem de kimyasal ve fiziksel özelliklerin daha fazla olduğu (54 özellik) bir başka çalışmada belirlenen bazı kümeler ise şunlardır (Sneath, 2000, aktaran Restrepo ve Pachón, 2007);

$\{He, Ne, Ar, Kr, Xe\}$ ,  $\{N, P\}$ ,  $\{S, Se\}$ ,  $\{Cl, Br\}$ ,  $\{O, F\}$ ,  $\{B, Si, C\}$ ,  $\{Ti, V\}$ ,  $\{As, Sb, Te\}$ ,  $\{Zn, Cd, In\}$ ,  $\{Hg, Tl, Pb, Bi\}$ ,  $\{Cr, Mn, Fe, Co, Ni\}$ ,  $\{Zr, Hf\}$ ,  $\{Nb, Ta, W, Mo, Re\}$ ,  $\{Cu, Ag, Au\}$ ,  $\{Tc, Ru, Os, Ir\}$ ,  $\{Rh, Pd, Pt\}$ ,  $\{Li, Na, K, Rb, Cs\}$ ,  $\{Be, Al\}$ ,  $\{Mg, Ca, Sr, Ba\}$  ve  $\{Sc, Y, La\}$ .

Burada görülen kümelerde ilgi çeken durum, *periyot sıralaması oluşturan* birçok elementin özelliklerindeki benzerliktir (örn. yukarıdaki bold kümeler). Ayrıca bu kümeler yukarıda ifade edilen *farklı ilişkiler* açısından uyumludur.

Bütün bu sebeplerden dolayı karmaşık özelliklere sahip bilimsel bir ürüne nasıl bir etiket verileceği akla gelmektedir. Bilimde üretilen bilgilerin özellikle açıklayıcı nitelikte olanlarını; yasalar, hipotezler ve teoriler olarak üç ana grupta toplamak mümkündür (Yıldırım, 1985). Bu bilimsel bilgi türlerinin genel özellikleri dikkate alındığında, periyodik tablonun özel bir durumda olduğu hemen fark edilebilir. Bu nedenle periyodik tablonun ve ona bağlı bilginin epistemolojik niteliği de oldukça tartışmalıdır. Brito ve diğerlerine (2005)'e göre bu konudaki farklı görüşler yasa ve teori arasında bir ikileme neden olmaktadır, ancak bu ikilemden ziyade Mendeleev'in çalışması yorumlayıcı bir teori iken, Moseley sonrasında açıklayıcı bir hal aldığı kabul edilebilir.

## 2. ÜÇ KAVRAM: PERİYODİK; YASA, SİSTEM ve TABLO

Ders kitaplarında sıkça ve bir arada ve bazen de birbiri yerine kullanılan periyodik tabloya ilişkin üç ana terime rastlanmaktadır; *periyodik sistem*, *periyodik yasa* ve *periyodik tablo* (*çetvel/tablo*). Konu ile ilgili yapılan epistemolojik tartışmalarda bu üç terimin net bir ayrımına rastlanmamaktadır.

Ancak bu terimler ile ifade edilmek istenenin aslında ne olduğunun bilinmesi en azından konunun öğretimine katkı sağlaması açısından önemli görünmektedir. Bu kavramlara yönelik

farkındalığın kimya eğitimi açısından önemli olduğu görüşünden yola çıkarak bazı temel sorular sormak mümkündür; *bu üç terim arasındaki farklılıklar nedir?* ve *bunlar arasında didaktik açıdan nasıl bir ilişki kurulması gerekir?* Alan yazında bu konuda çok açıklayıcı bilgilere rastlamak mümkün değildir. Aşağıda öncelikle ilk soruya yönelik olarak bu terimlere ilişkin bir tanımlama girişiminde bulunulacak, ilerleyen bölümlerde ikinci soruya cevap aranacaktır.

## 2.1. Periyodik Yasa

Birçok kaynakta periyodik yasa Mendeleev ile birlikte anılmakta veya “Mendeleev’in periyodik yasası” ifadesine rastlanmaktadır. Mendeleev’ ise periyodik yasayı kendi ifadesi ile “*elementlerin özellikleri atom kütlelerinin periyodik fonksiyonudur*” şeklinde tanımlamaktadır (aktaran Hendry 2012a, s. 260). Mendeleev’in yaşadığı zaman dilimi ve günümüz bilgi birikimi düşünüldüğünde yasayı basit bir önerme şeklinde tanımlaması oldukça olağandır. Ancak kimya felsefesi alan yazınında periyodik yasaya ilişkin tanımlamalarda bir belirsizlik olduğu söylenebilir. Genel olarak periyodik yasanın diğer bilimsel yasalardan, özellikle *aksiyomatize edilememesi, belirli bir matematiksel formülasyona müsaade etmemesi ve ampirik verilere dayalı sayısal ilişkiler ile tam olarak tanımlanamaması* gibi noktalardaki farklılıkları vurgulanmaktadır (örn. Scerri, 1998, 1997; Schummer, 2004). Örneğin ideal gaz yasaları gibi bir çırpıda tanımlamaktan kaçınılmasının temel nedeninin Mendeleev’den sonra tablo üzerinde yeni bulgular ile yapılan düzenlemeler ve buna bağlı olarak elementlerin sınıflandırılmasına getirilen yeni kriterler sonucunda *periyodikliğin* geldiği son durum olduğu açıktır;

*Periyodik yasa birçok açıdan felsefi tartışmaya açık görünmektedir... Periyodikliğin sürekli ve tam olmaması ve belirli bir değerinin olmaması gibi... Bu açıdan birçok kimyacı yasa terimini terk etmiştir... Periyodik yasa tipik bir kimyasal yasanın yaklaşıklık ve karmaşıklık özelliğini göstermektedir, ama açık olan elementlerin yasamsı bir davranış sergilediğidir (Scerri,2007, s.16)*

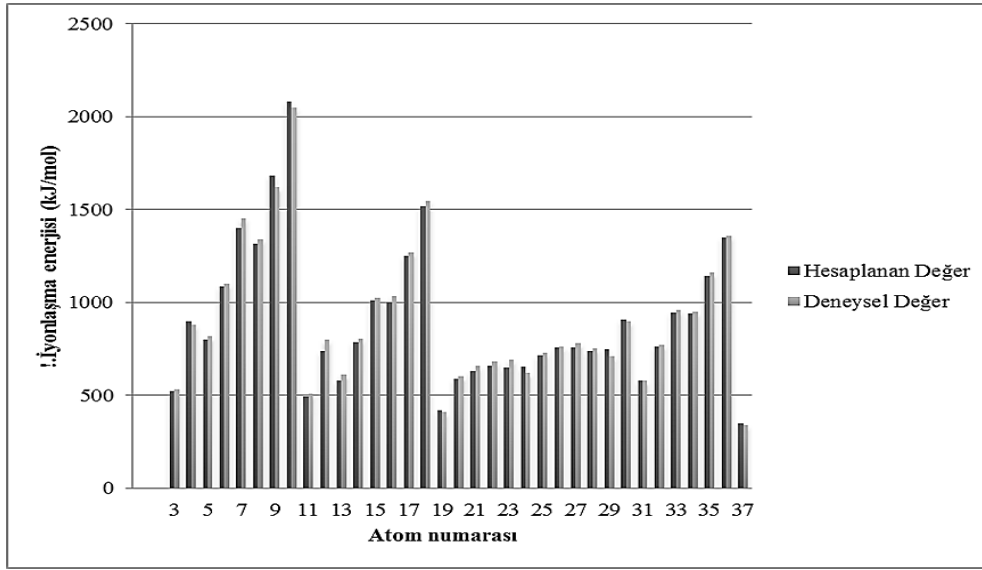
Burada *yasamsı* terimi ile vurgulanan, Mendeleev ’in tanımında veya Moseley sonrasında elementlerin periyodik olarak özelliklerini tekrar etmesindeki temel nedenin; *atom kütleleri* veya *atom numarası*, olduğu kabulünün geçerliliğini kaybettiğidir. Günümüzde kimya felsefesinde yapılan indirgemecilik tartışmaları bunu doğrular niteliktedir. Buna göre elementlerin özellikleri çok farklı faktörlerce belirlendiği düşünüldüğünde element özelliklerini belirli bir olgunun fonksiyonu olarak ifade etmek mümkün görünmemektedir. Ancak yine de elementlerin özelliklerini belirleyen temel bir olgu ile epistemolojik veya ontolojik bir nedensellik kurma arayışı da vardır.

Bu arayışta bulunanlar “*rasyonel*” bir periyodik tablonun oluşturulması için gerekli olan periyodik yasanın şu andaki atom teorisi tarafından açıklanabilir ve bundan indirgenebilir olduğunu savunmaktadır (Katz, 2001, 2007; Hettema ve Kuipers, 1988). Ancak kimyada büyük başarılar gösteren kuantum teorisine dayalı açıklamaların periyodik tabloyu hem parçacık hem makro seviyede özellikleri kapsayan aksiyomatik bir temele oturması mümkün görünmemektedir. Periyodik tablo, kuantum teorisinden çıkarılabilir belirli bir yasaya indirgenememekte ve yasanın da bu bağlamda bir formülasyonu yapılamamaktadır (van Brakel, 2014; Scerri, 1991). Bu durum hem periyodik yasanın diğer yasalardan (örneğin klasik fizik yasaları) en büyük farkını ortaya koyması hem de periyodik yasa ile periyodik sistem ilişkisinin tutarlı bir sistemin mantıksal analizindeki gibi *aksiyomatik* bir ilişki olmadığını göstermesi bakımından önemlidir.

*Ancak bu bağlamda didaktik bir sorun olarak bir yasa ifadesinin mümkün olup olmaması veya yasanın nasıl açıklanacağı ve ifade edileceği gündeme gelmektedir.* Bu noktada ise yasanın ancak kompleks olguları açıklamak için basit bir olguya uygulanan açıklama prosedürlerini kullanma olan yaklaştırma ile açıklanabileceği düşünülmektedir (Ostrovsky, 2001). Örneğin elementlerin 1. iyonlaşma enerjilerinin kuantum mekaniksel yöntemlerle hesaplanan değerlerinin deneysel olanlarla karşılaştırılması kuantum teorisine dayalı açıklamaların yasayı



tanımlamada yeterli gelmediğinin, sadece yaklaştırma yapılabildiğinin basit bir göstergesidir (Scerri, 2007)



(değerler Scerri, 2007'den alınmıştır)

**Şekil 2.1. Bazı elementlerin 1. iyonlaşma enerjilerinin deneysel ve hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması**

### 2.1.1. Periyodik yasanın yeni hipotetik formu

Gelinen noktada yasa ancak şu şekilde bir göndermeye müsaade edecek şekilde ifade edilebilir (ifadenin koşulsuz bir benzeri; Scerri (2007, s.16); *eğer elementler.... ve .....göre sıralanırsa elementlerde, belirli düzenli ama değişken aralıklar sonrasında kimyasal özelliklerin yaklaşık tekrarı gözlenir.* Deneysel verilerle desteklenmiş bulgulara göre yasa böylesi koşullu ve betimsel önermeye belli bir düzeyde dayandırılabilir. Bu tam bir yasa ifadesi midir? Bu soruya cevap vermek kolay görünmüyor. Ancak olumlu yanı tarihsel süreçte ifade edilen periyodik yasa tanımlarını da (örn. Mendeleev'in yasa ifadesi) bir açıdan içermesidir. Çünkü tarihsel süreçte periyodikliğe dayanak olan temel kriterleri (atom kütlesi, atom numarası, değerlik kabuğu elektron sayısı/düzeni gibi) ile yapılan açıklayıcı bir yasa tanımlama girişimleri başarısız olmuştur. Bu ifadenin de temel bir kriterde zorlayıcı olmadığı görülmektedir. Diğer taraftan bu önerme elementlerin kimyasal özelliklerindeki benzerlikle sınırlıdır. *Bu çalışmada periyodik yasa ile kast edilen bu aşamadan sonra bu önerme olacaktır.* Yasanın diğer klasik ifadeleri ile karışmaması için kişi isimleri ile, örneğin Mendeleev'in periyodik yasası şeklinde etiketlenecektir.

### 2.2. Periyodik Tablo (Tablo/Cetvel)

Periyodik yasa felsefi açıdan ilginç bir yasadır, çünkü matematiksel ya da dilsel olmayan bir temsile sahiptir (van Brakel, 2014). Bu temsil periyodik tablodur. Periyodik tablo (veya cetvel/cizelge) ise, periyodik sisteme nazaran daha somut, belirli bir kritere bağlı olarak dizilmiş elementlerin sembollerinin oluşturduğu bir görsel yapıdır. Temel alınan diziliş kriterine (örn. atom numarası, elektronik konfigürasyon vb.) bağlı olarak yapılan dizilişin görsel formudur. Bu açıdan periyodik tablo periyodik sistemin semiyotik bir unsurudur. Kimya öğretimi açısından periyodik sistem kapsamına giren bilgilere öğrenenlerin gönderme yapmasına imkân veren göstergeler bütünüdür. Peirce' e göre gösterge bir kimse için bir şeyin yerini tutan, ona uyum sağlayan, o şeyi üretmeye ve nitelermeye imkân veren bir temsildir (Peirce, 1982). Bu açıdan nasıl ki bilgiler dilsel göstergeler olan kelimeler ve onlar arasındaki ilişkiler ile ifade edilir ise, periyodik tablo da temsil ettiği periyodik sistemin semiyotik açıdan bir göstergesidir. Periyodik

sistem ve periyodik tablonun farkına değinmek için Wang ve Schwarz (2009)'ın “kimyanın ikonu” ifadesi üzerinden gidilebilir. Bu ifade periyodik sisteme atfen kullanılmıştır. Ancak “ikon” gösterge bilimsel olarak bir gösterge türüdür. Bu açıdan periyodik sistemi tam karşılamamaktadır. Periyodik sistem daha kuramsal bir niteliktedir. Bu ifade esasen periyodik tablo için kullanılabilir.

### 2.3. Periyodik Sistem

Kimya epistemolojisi açısından en temel sorulardan birisi şudur; bu üç kavram etrafında birleşen, elementlerin gerek grup ve bireysel özelliklerine ve gerekse periyodik özelliklerine ilişkin bilgiler ve bunlar arasındaki ilişkiler nasıl kodlanabilir? Burada öne çıkan terim periyodik sistemdir. Bu terimin periyodik tablo ve periyodik yasa kavramlarını da kapsayan daha genel bir anlam taşıdığı açıktır. Alan yazında periyodik tablo terimi ile kast edilenin çoğu kez periyodik sistem olduğu onun temelde ilk “Big Data” örneklerinden birisi olduğu vurgusu ile açıkça ortaya konmaktadır (örn. Post, 2016). Periyodik sistem elementlerin temelde belirli kurala göre dizilişlerine bağlı olarak; *bu dizilişten ortaya çıkan, elementlerin gerek kuramsal gerek amprik temelli özelliklerine ait bazı periyodik eğilimleri; bu değişimleri dile getirmek için oluşturulan betimsel genellemeleri; bu özellikler açısından elementler arasındaki ilişkilere yönelik açıklayıcı genellemeleri ve belli elementlerin özelliklerine ilişkin durumsal önermeleri vb.* leri içeren bir bütün olarak kabul edilebilir. O halde periyodik sistem, daha çok kuramsal bir sisteme benzer özellik sergiler. Ders kitaplarında ifade edilen birçok bilgi (örn. grup özellikleri, periyodik eğilimler, elementlerin tekil özellikleri vb.) ve bunların arasındaki ilişki periyodik sistemi oluşturur. Bu açıdan periyodik sistem öğrencilerin belli ilişkilerden yola çıkarak bu bilgilere belli bir düzeyde ulaşmalarına imkân veren bir bütündür. Adı ne olursa olsun kimya öğretimi açısından, periyodik sistemin içerdiği bilgilerin epistemolojik niteliği ve sınıf içi bilgi üretimi-periyodik sistemi kullanma ve sistemden faydalanma-noktasında durumları daha anlamlı ve önemli görünmektedir.

#### Periyodik sistem

(Özelliklerin periyodik değişimi ve değişimdeki nitelik, grup özellikleri ve benzerlik vb. ilişkin tüm bilgiler)



#### Periyodik yasa

(“elementler... ve .....göre sıralanırsa, elementlerde belirli düzenli ama değişken aralıklar sonrasında kimyasal özelliklerin yaklaşık tekrarı gözlenir.”)

#### Periyodik tablo

IUPAC Periodic Table of the Elements

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 28 November 2016. Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

### Şekil 2.2. Üç temel kavram arasındaki ilişki

## 3. PERİYODİK YASA ve PERİYODİK SİSTEM İLİŞKİSİ

Periyodik yasa ve periyodik sistem ilişkisinin sağlıklı kurulması, öğretim sürecinde periyodik sistemin etkin kullanılmasına da kapı açacaktır. Bu başlıkta yasa –sistem ilişkisi

konunun tarihi perspektifini dikkate alınarak felsefi bir açıdan tanımlanmaya çalışılacaktır. Bu amaçla tarihsel süreçte ortaya konulan iki temel yaklaşıma değinilecek ve bunların bağlamında kimya eğitiminde de yasa- sistem ilişkisinin nasıl olması gerektiğine ilişkin tartışmalar ortaya konulacaktır.

Periyodik yasa ve periyodik sistem arasında ilişki kurma bir açıdan çıkarım yapma işidir. Konunun tarihsel gelişimi de bunu doğrulamaktadır (örn. Mendeleev'in öndeyileri, Moseley sonrası çizelgenin düzenlenmesi vb.). Bu açıdan belki de doğru soru şu olmalıdır; *periyodik yasa ve periyodik sistem arasında nasıl bir akıl yürütme ile ilişki kurulmalıdır?* Bilim felsefesinde bilimsel bilgiler arasındaki ilişkinin nasıl olması gerektiğine yönelik tartışmalar doğal olarak geçen yüz yılın metodolojik ve epistemolojik tartışmalarının en önemli konusu olan *bilimin rasyonalitesi* sorununa götürmektedir.

Bilimin rasyonalitesi sorunu, en genel hali ile bilimin mantıksal bir yapısının olup olmadığı sorundur. Son yüz yılda bu sorunun, bilimsel bilginin nasıl elde edildiğinden bilimsel açıklamanın önermesel yapısına kadar geniş bir çerçevede; T. Kuhn, K. Popper, R. Carnap, H. Reichenbach, I. Lakatos gibi ünlü isimler başta olmak üzere birçok bilim felsefecisi tarafından ele alındığı ve farklı yaklaşımların ortaya konulduğu görülmektedir (Demir,2000). Bu bağlamda bilim felsefesinde hem bilimsel bilginin gelişim sürecinde (metodolojik) hem de bilimsel bilgilerin (bilimsel kuramlar, yasalar vb.) önermesel yapılarının incelenmesinde (epistemolojik) farklı akıl yürütmeler gündeme gelmektedir. Bunlar mantıkta formel akıl yürütme yöntemleri olarak ifade edilen tümevarım ve tümdengelim ile informal yöntemler olan hipotetik-dedüksiyon ve retrodüksiyon (ve/veya abduction) yöntemleridir (örn. Musgavre, 2009; Spenger, 2011; Rothchild, 2006).

Diğer taraftan bilimsel metodoloji üzerinde yapılan tartışmalarda ortaya konan önemli bir ayırım olarak; bilimin *buluş/bulma (keşif) ve doğrulama bağlamları* (Reichenbach, 2006) dikkat çekmektedir. Buna göre bilimsel bilgi edinme sürecinde iki bağlam söz konusudur. Bulma bağlamı bilimsel bir bilgiye ulaşma sürecini, doğrulama bağlamı ise elde edilen bilgiyi sınama sürecini ifade eder. Bu iki bağlamın rasyonalitesi ve mantığı hakkında farklı görüşler söz konusudur. Bilimsel bilgilerin doğrulama bağlamı didaktik açıdan da önemlidir. Çünkü Reichenbach'a göre (2006) bulma bağlamında mantık dışında farklı psikolojik süreçler söz konusudur ve önemli olan doğrulama bağlamının mantıksal yapısının anlaşılmasıdır. Bu nedenle yaygın görüşün bulma bağlamının rasyonalitesinin çok açık olmadığı, doğrulama bağlamının ise özellikle yanlışlamacılık temelinde hipotetik-dedüktif olduğu söylenebilir (Demir,2000). Başka bir ifade ile; kasıtlı yönlendirmeye ve kontrol etmeye açık olmayan bulma bağlamından ziyade bilim insanlarınca ortaya konulan bir bilginin öğretim ortamında test edilmesi temelinde doğrulama bağlamı özellikle periyodik sistemden faydalanma noktasında daha anlamlı olacaktır (Sarıtış, 2012)

### 3.1. Periyodik Yasa ve Periyodik Sistem İlişkisini Kurmada Metodolojik Yaklaşım

Her ne kadar farklı şekillerde yorumlamak mümkün olsa da periyodik sistemin gelişim sürecini bilimin bulma ve doğrulama bağlamları açısından üç basamakta ele almak mümkündür. Mendeleev'in periyodik yasaya ilişkin ilk tanımlamayı ortaya koyması, bu tanımlama sonrasındaki gelişmeler ve son olarak Moseley' sonrası yasanın yeni bir şekil alması ile başlayan süreç. Kabaca ilk basamak yasanın bulma diğerleri ise doğrulama bağlamına ve bir açıdan da yasaya dayalı olarak *periyodik sistemin* gelişmesine imkân veren süreç karşılık verir.

#### 3.1.1. Yasanın ilk hali ve bulma bağlamı

Mendeleev'in periyodik yasayı üretmesinde kendinden önceki bilim insanların (örn. Cannizzoro) atom ağırlıklarına ilişkin çalışmaların etkisi olmuştur. Ortaya koyduğu yasa, atom ağırlığı- özellik ilişkisi üzerinden indüktif (tümevarımsal) bir hipotez olarak görülebilir. Örneğin atom kütlesi ve elementlerin farklı kimyasal özellikleri arasındaki "*düzenli kütle artışı gösteren*

*elementlerin valans değerleri aynıdır*” şeklinde birkaç set element üzerinden yapılan tümevarımsal bir çıkarım ister istemez Mendeleev’in periyodik yasasına, “*elementlerin özellikleri atom kütlelerinin periyodik fonksiyonudur*”a götürebilir. Ancak bu ifadenin tam olarak bir yasaya ait olduğunu söylemek mümkün değildir. Nitekim yasa bu şekilde olsaydı Moseley’in deneyleri bu ifadeyi desteklerdi. Oysa Moseley’in deneyleri ve deneylerden yaptığı çıkarımlar önermedeki temel parametreyi “*atom kütlesi*” den “*atom numarası*” na çevrilmiştir. Kısacası Mendeleev’in yasası esasen bir hipotez olarak varlığını sürdürmüştür. Moseley ile başlayan süreçte yapılanların bir bakıma henüz tam anlamı ile yasalaşmamış bir hipoteze ilişkin doğrulama bağlamını oluşturduğu söylenebilir.

### 3.1.2. Doğrulama bağlamı

Doğrulama bağlamında bilimsel bir yasanın (o zaman için yasa olarak adlandırılrsa da gerçekte yasa olmaya aday güçlü bir hipotez olarak) ortaya konmasından sonra metodolojik açıdan takip edilebilecek iki yol söz konusudur;

1. İfadeyi göz önünde tutmak koşulu ile olgular giderek tümdengelimsel olarak test etmek (hipotetik-dedüktif).
2. Galileo-Newton ilişkisine benzer olarak indirgemeci bir yaklaşımla üst düzey bir teoriden yasaya giderek, yasayı tümdengelimsel olarak elde etmek (İndirgemeci-dedüktif).

Periyodik yasa için bu sürecin Mendeleev ve Moseley sonrasında farklı şekillerde işlediği ve periyodik sistemin gösterdiği gelişimin de yönünü belirlediği söylenebilir.

**Mendeleev’in ön-deyileri; Hipotetik-dedüktif süreç.** Mendeleev periyodik yasa ve periyodik sistem ilişkisinde (yasadan yola çıkarak elementlere yönelik çıkarımlarda) yasayı merkeze almaktadır;

*periyodik yasanın doğasını açıklamak için, ondan başka veya onun üzerinde farklı bir hipotez oluşturmayı gereksiz görüyorum, her şeyden önce, yasanın kendisi çok basittir* (aktaran Brito ve diğerleri, 2005, s.89).

Esasen bu periyodik yasanın doğrulanmasının da çok basit olduğunun bir iddiasıdır. Mendeleev’ e göre yasa tümevarımsal olarak doğrulanmıştır (aktaran Brito ve diğerleri, 2005). Mendeleev’in yaklaşımı pozitivist felsefenin doğrulama bağlamını yansıtmaktadır. Mendeleev’in yaşadığı zamanın baskın felsefi görüşü olan pozitivizm dikkate alındığında böyle düşünmesi sürpriz değildir. Esasen kastettiği tümevarımsal doğrulama, yasadan *bilinen elementlerin* özelliklerine ait çıkarımların olgusal olarak sınanmasından farklı bir şey değildir. Ancak *bilinmeyen elementlere* ilişkin öndeyilerdeki başarıları tümevarımsal doğrulamanın ötesinde bir sürece işaret etmektedir. Mendeleev’in tabloda boş kalan yerlerdeki elementlere ilişkin takındığı net tutum bu sürecin yasadan tümdengelimle ürettiği öndeyilerin bulunan yeni elementler ile test edilmesi şeklinde yürüdüğünü göstermektedir. Bu ise yasanın tümdengelimsel test edilmesi yani daha çok *hipotetik-dedüktif* bir süreç olarak görülebilir.

Hipotetik-dedüktif yöntem, tümel (genel) nitelikteki olgusal içerikli önermeleri, bilimde kullanılan eksik tümevarıma başvurmadan denetlemeye yarayan bir yöntem olarak ifade edilmektedir (Çüçen, 2006; Schurz, 2005).

Hipotetik- dedüktif yöntemin mantıksal yapısı şu şekilde gösterilebilir;

**Q:** Doğrulanmış veya doğruluğu bilinen bir gözlem önermesi (olgu)

**P:** Hipotez önermesi (test edilecek hipotez)

**S:** Sonuç önermesi

Sembolik olarak ifade: *Q’ dur ve eğer P’ doğru ise, o halde S’ dir.*

Buna Mendeleev'in periyodik sistemine yönelik öndeyilerinden birisi ile örnek verilebilir. Örneğin;

**Q:** IV element grubunda atom kütleleri arasında Ti-Zr arasındaki artış düzenli değildir.

**P:** *Gruplarda atom kütleleri arasında düzenli artış vardır.*

**S:** O halde bu grupta bilinmeyen bir element vardır.

Böylesi bir çıkarımda sonucun (S) olgusal olarak durumuna bakıldığında iki durum ortaya çıkabilir;

1. S, amprik olarak doğru ise; hipotez (P) doğrulanmış olur. Mantıksal olarak çıkarım da geçerlidir.
2. S, amprik olarak yanlış ise; hipotez (P) yanlışlanmış olur. Ama mantıksal olarak çıkarım yine geçerlidir.

Bu tür akıl yürütmede, geçerli bir akıl yürütme ile olgusal bir hipotez (P) denenmiş oldu. Ge (Eka-Silisyum)' a ilişkin Mendeleev'in ön görüşleri ile bulunan değerler arasındaki uyum buradaki S önermesini amprik olarak doğrulamıştır. Bu açıdan elementlerin nitelikleri arasındaki ilişkiye dayalı öndeyiler üzerinden hipotetik-tümdengelimsel süreçle Mendeleev yasası başarılı bir şekilde test edilmiştir. Ancak yukarıda değinilen anomalileri içeren farklı nicel değerler (örneğin elektronegatiflik, atom yarı çapının sayısal değerleri gibi) dikkate alınırsa Mendeleev'in kütleyle bağlı yasa tanımlamasının bu sınamadan çıkması zor görünmektedir. Benzer şekilde periyodik sisteme ilişkin ortaya konulan her türlü genellemenin geçerliği bu yöntemle test edilebilir.

**Moseley Sonrası: İndirgemeci-Dedüktif süreç.** Moseley'in çalışmalarından sonra periyodik sistem üzerinde özellikle fizik teorilerin etkisinin arttığı ve yasaya ilişkin yeni tanımlama ve açıklamaların geliştiği söylenebilir. Bu teorilerin elementlerin atomik özelliklerine getirdiği açıklamalar ile periyodik tablonun genel yapısı arasındaki uygunluk derecesi periyodik yasaya ve periyodik sisteme yaklaşımı daha elektron merkezli ve indirgemeci bir yönde değiştirmiştir. Bohr atom teorisinden sonra, periyodikliğe bağlı olarak oluşturulan bir grubun elementleri arasındaki benzerliğe son kabuklarının benzerliğinin neden olduğu düşüncesi ortaya çıkmıştır (Scerri, 2007). Ayrıca atom numarasının keşfinden yaklaşık 14 yıl öncesine dayanan kuantum kuramının etkileri de büyük olmuştur. Kuantum kuramına bağlı olarak, orbitaller ve elektron konfigürasyonuna bağlı olarak periyodik sistem yorumlanmaya başlanmıştır (Scerri, 2007; Ostrovsky, 2001). Başka bir ifade ile yasanın hipotetik bir yaklaşımla tümdengelimsel olarak test edilmesi eğiliminden, bir üst fizik teorisinden tümdengelimsel olarak elde edilmesi eğilimine bir geçiş söz konusu olmuştur.

Tümdengelim ise mantıksal açıdan, verilen öncüllerden hareketle bazı hükümler çıkarma veya ispat etme metodudur (Grünberg, 2005). Tümdengelimde, temel öncül veya öncüllerin (önergelerin) doğru olması durumunda, eğer çıkarım mantık kurallarına göre yapılmış ise sonuçlar da zorunlu olarak doğrudur (Çüçen, 2006). *Başka bir ifade ile sonuç öncüllerde gizlidir yani bir tür totolojidir.* Tümdengelim yapıları şu şekildedir;

P' doğru ise, Q' da doğrudur, (P' öncül veya öncülleri, Q' da sonucu sembolize etmektedir) şeklinde özetlenebilir. O halde Q' nun doğruluğunu belirleyen şey P' nin doğru olmasıdır veya P' nin doğruluğunu etkileyen her unsur, Q' nun doğruluğunu da etkiler.

Ancak hipotetik olmayan tümdengelimsel doğrulama bilimsel önermeler ile her zaman doğru sonuçlara götürmeyebilir.

Örneğin;

**Öncüller:** Elementlerin kimyasal davranışlarını dış kabuk elektronların düzeni belirler

Vanadyum, Niobyum ve Vanadyumum benzer kimyasal özellik gösterir

**Sonuç:** o halde; Vanadyum, Niobyum ve Vanadyumum dış kabuk elektron düzenleri aynıdır.

Örnekte, benzer kimyasal özelliklerin dış kabuk elektronları tarafından belirlendiğine engel bir faktör söz konusu olursa, öncülün doğruluğu bu faktörden etkilendiği için, sonuçta üretilen bilginin doğruluğu da tartışmalı hale gelir. *Bu açıdan tümdengelim matematik postulatları gibi doğruluğu kesin olarak bilinen veya doğruluğu kesin kabul edilen, önermelerden yapılan çıkarımlarda iş görmektedir.* Örnekte verilen Vanadyum, Niobyum ve Vanadyumum periyodik tabloda aynı grupta bulunurlar ancak dış kabuk elektron düzenleri aynı değildir. Burada indirgemeci-tümdengelim yanlış sonuç vermektedir ve aynı gruba girme ile elektron düzeni arasında net bir ilişki yoktur. Bu durum kimyasal davranışların dış kabuk elektronların belirlediğine ilişkin indirgemeci görüşün yanlışlığını ortaya koymakla birlikte (Scerri,1994), buna karşın sınıflamada kimyasal davranışlardaki niteliksel benzerliğin kimya açısından daha önemli bulunduğunu da göstermektedir.

### 3.2. Periyodik Yasa- Periyodik Sistem İlişisini Kurmada Epistemolojik Yaklaşım

Periyodik sistemin temel özelliği olan periyodikliğin sistemden faydalanmak ve yasa-sistem ilişkisi kurmada sınırları ve geçerliliği önemlidir. Başka bir ifade ile elementlerin hangi özelliklerinin periyodikliğin olduğu tartışılması gereklidir. Brito ve diğerlerine (2005) göre, tartışmalı bir konu olmakla birlikte, periyodik tablonun tarihsel gelişim süreci, elementlerin özelliklerindeki periyodikliğin tümevarımsal bir genelleme veya atom teorisinin bir fonksiyonu olarak anlaşılabilirliğini göstermiştir. Bu bağlamda periyodik sistemin tarihi boyunca, aralarında hassas bir etkileşim olan farklı iki yaklaşım vardır (Scerri, 2007);

1. Elementler arasındaki niteliksel benzerlikleri önceleyen yaklaşım (Nitel)
2. Ağırlıklı olarak atomik özelliklere bağlanan ayırt edici nicel fiziksel verileri önceleyen yaklaşım (Nicel)

İkinci yaklaşım ağırlıklı olarak fizikçilerin benimsediği ve kimyanın birçok noktada fiziğe indirgenebileceğine bağlı olarak gelişen görüşe, diğeri ise karşıt olarak genel anlamda kimyacıların görüşlerine daha yakındır. *“Explanations versus calculations”* şeklinde ifade edilen (Ostrovsky, 2001, s.147) bu iki yaklaşım arasındaki mücadelede; Mendeleev’ sonrasında bir süreliğine ilk görüş etkili iken, Bohr atom teorisinin ortaya çıkışı ve Moseley sonrasında atomun yapısındaki gelişmeler, özellikle de kuantum mekaniğinin gelişmesi ve fiziğin kimya üzerindeki etkileri ile ikinci görüşün etkisini artırdığı söylenebilir.

#### 3.2.1. Nicel yaklaşım

Bu yaklaşıma göre periyodik yasa atomik özelliklere yönelik nicel veriler (örn. atom yarıçapı, elektronik konfigürasyon) arasındaki periyodiklik ve buna bağlı olarak gruplardaki benzerliği açıklayacak şekilde yeniden tanımlanabilir ve bu şekilde yasadaki tümdengelimle periyodik sisteme etkili çıkarımlar yapılabilir. Görüşün kabul edilebilmesi için atomik özelliklere ilişkin genellenen açıklamalar yapan fizik teorilerinin periyodik yasayı da vermesi gerekir. Bu görüş tarihsel süreçte indirgemecilikle yakından ilişkili olarak fizik teorilerinin atomik özelliklere yönelik başarısı nedeni ile periyodik yasanın da bu teorilerden elde edilip edilmeyeceği tartışması ile gündeme gelmiştir (Hendry, 2012b). Buna göre; eğer yasa son tahlilde kuantum teorisi olmak üzere, fizik teorilerinden yola çıkılarak daha açıklayıcı şekilde düzenlenerek elde edilirse, artık yasa net bir şekilde elementlerin özellikleri arasındaki periyodik ilişkiyi ortaya koyabilecektir. Bu şekilde yasa-sistem ilişkisi daha kolay kurulabilecektir. Ancak kimya felsefesinde deneysel verilere dikkate alınarak elektron konfigürasyonuna bağlı kuantum mekaniğin açıklamaları ile periyodikliğin tam olarak tanımlanmayacağı ifade edilmektedir. Buna göre sistem tam bir indirgeme girişimine karşı çıkan birçok detaylar ve anomaliler barındırır (Scerri,1996). Diğer taraftan gruplardaki benzerlik

düşünüldüğünde ise öncelikle Bohr atom modeline göre; *aynı değerlik elektron sayısı- benzer kimyasal özellik*, şeklinde, ardından kuantum kuramından sonra; *benzer elektron düzeni- benzer kimyasal özellik*, şeklinde ortaya konulan gruplandırma kriteri geçerli görünmemektedir. Gruplardaki birçok anomali durum ve farklı ilişkiler buna engel olmaktadır. Son tahlilde nicel yaklaşımın başarısız olduğu görülmektedir.

### 3.2.2. Nitel yaklaşım

Bu yaklaşıma göre periyodiklik özellikle elementlerin kimyasal davranışlarına dayanmalıdır ve benzerlik te bunlar üzerinde tanımlanmalıdır. Başka bir ifade ile yasa kimyasal davranışlar üzerinden ifade edilmeli ve sisteme çıkarım bunlar ile sınırlandırılmalıdır. Genel anlamda kimyacılar buna daha yakındır. Örneğin nicel ve nitel yaklaşım arasında IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)'in eğilimi elektron dizilimindeki düzen yerine, kimyasal özelliklerdeki benzerliğin daha önemli olduğu yönündedir (Katz, 2007). Ancak bunun da tam bir çözüm olması için her şeyden önce kimyasal özelliklerin düzenli değişimi olmalıdır. Oysa düzensizlik kimya açısından oldukça önemli olan özelliklerin periyodikliğinde daha fazla görülmektedir (Firsching,1981). Günümüzde periyodik sistemin yukarıda değinilen özellikleri periyodiklik ve gruplardaki benzerliğin çok geçerli olmadığını göstermektedir. Bu açıdan kimyasal özelliklerden yola çıkılarak yapılan periyodiklik tanımı belli bir geçerlilik içerisinde sisteme sadece gruplandırma ve sınıflama işlevi yüklendiğini de göstermektedir.

Bu genel çerçeveden özetle; Mendeleev' den sonra gelişen süreç ve periyodik sisteme yansımaları periyodik yasanın bir şekilde doğrulama bağlamını oluşturmuştur ve doğrulama süreci göstermiştir ki Mendeleev'in (aktaran Niaz, Rodriguez ve Brito 2004, s.274) “...her şeyden önce yasa çok basit...” ifadesi günümüze oldukça uzak bir düşüncedir ve yasa bu derece basit değildir. Gelinek noktada periyodik sistemin ne kuantum kuramından tümdengelimsel olarak elde edilebilecek, *ne de kendisinden tümdengelimsel olarak çıkarılan olgusal içerikli genellemelerin tümevarımsal olarak doğrulanabileceği kesin bir yasaya dayanmadığı söylenebilir*. Başka bir ifade ile periyodik yasanın henüz tam olarak ve diğer bilimsel yasalar gibi basit bir şekilde ifade edilemiyor ya da indirgenemiyor olması periyodik sistemin farklı olan doğasından kaynaklanmaktadır. Görülen o ki, şu anki hali ile periyodik sistem tam olarak temel varsayımı belli olmayan bir yasamsı (örn. Scerri,2007) ile özetlenecek olgular arasındaki ilişkilere ait; kimi açıklayıcı, kimi betimleyici, amprik ve kuramsal; genel veya durumsal önermelerden oluşan sistematik bilgiler bütünüdür. Bu hali ile ne bir teori olarak değerlendirilebilir ne de bir tek yasaya indirgenebilir.

## 4. KİMYA ÖĞRETİMİ İÇİN İPUÇLARI

Günümüzde hala periyodik sistem genellikle periyodik tablo etiketi ile verilmektedir (örn. Reedjik, 2018; Post, 2016). Benzer şekilde okul bilminde de periyodik tablo ile sınırlandırılarak haritalar ve diyagramlarla aynı sınıfa giren görsel bir model olarak değerlendirilmektedir (örn. Ayvacı ve Bebek, 2017). Kimya eğitiminde güncellenen öğretim programı incelendiğinde ise kazanımlar temelinde periyodik sisteme ilişkin şu unsurlar öne çıkmaktadır (MEB,2017); *periyodik özelliklerdeki değişim, elementlerin özellikleri ve periyodik sistemdeki yerleri arasındaki ilişki*. Bunlar ile ilgili bilgiler ders kitaplarında da yukarıdan aşağıya (grup özellikleri) ve soldan sağa (periyodik özellikler) periyodik tablonun özellikleri olarak genellemeler ile verilmektedir (örn. MEB,2009). Ancak programlarda ve kitaplarda periyodik sistemin epistemolojik özellikleri bağlamında anomali durumlar ve farklı ilişkilere yönelik herhangi bir açıklamaya ve yönlendirmeye rastlanmamaktadır. Bu durum hem periyodik sistemin etkin ve bilimsel sonuçlara uygun bilgilere ulaşmaya imkân veren bir şekilde kullanılmasında hem de epistemolojik niteliğinin anlaşılması noktasında bir boşluğa işaret etmektedir.

Kimya eğitimi alan yazında periyodik sistemin öğretimi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde ise, çok büyük bir kısmında periyodik sistemin; element sembolleri ve gruplandırmalar gibi yapısal özelliklerinin öğrenilmesine yönelik olduğu, çalışmalarda belirgin periyodik eğilimlerin öğrenilmesinin özellikle öne çıkarıldığı görülmektedir. Bu genel çerçevede yürütülen çalışmalarda; *sistemi tablo olarak yeniden oluşturma* temelinde, bilgisayar programları, web tabanlı uygulamalar, element özelliklerine dayalı kart ve bilgisayar oyunları; sembol eşleştirmeleri, dramatik uygulamalar, hikâyeleri kullanma gibi etkinliklerin grup veya bireysel olarak uygulandığı görülmektedir (örn. Hoffman ve Hennessy, 2018; Joaquín, Jose' María ve Almoraima, 2015; Tierney 2008; Alexander, McGinty, Schultz and Sevcik, 2008; Farrer, Monk, Heron, Lough and Sadler 2010; Diener 2011; Wiediger 2009; Woelk 2009). Çalışmalarda ortak amacın periyodik sistemi ve periyodik tabloyu mevcut hali ile öğrenilmesini sağlamak olduğu söylenebilir.

Ancak periyodik sistem, tablonun mevcut halinin öğretilmesinden daha farklı boyutlarda kimya eğitimine hizmet edebilir. Kimyaya özgü olan periyodik yasanın ve onu açıklama girişimi ile evrilen ve gelişen periyodik sistemin hikâyesine felsefi bir bakış önemli ipuçları verebilir. Bunlardan ilki periyodik sistem örneği üzerinde özellikle kimyasal bilginin geçerliliği, sınırları, doğruluğu, değişe bilirliliği vb. yönelik doğası ile ilgili iken, diğeri periyodik yasa ve sistem ilişkisi bağlamında sistemin etkin bir şekilde kullanılmasında akıl yürütme şekillerinden hangisinin daha uygun olacağına yöneliktir. Bu ipuçlarını takip ederek kimya eğitimi için bazı önemli sonuçlar çıkarılabilir ve önerilerde bulunulabilir.

#### 4.1. Kimyasal Bilginin Niteliğini Kavrama

Tarihsel süreçte periyodik yasa üzerinden periyodik bir sistem oluşturacak bilgiler üretmeye imkân sağlayan yasa tanımlamaları hep bir parametreye bağlı bir önerme ile yapılagelmiştir. Bu noktada periyodik yasa ile ilgili bu tanımlamalar şu şekilde ifade edilebilir; **a) Elementlerin özellikleri onları oluşturan atomların kütlelerinin periyodik bir fonksiyonudur b) Elementlerin özellikleri atom numaralarının periyodik bir fonksiyonudur c) Elementlerin özelliklerini değerlik kabuğu elektron sayıları/düzeni belirler.** Ancak bunların hiçbirinin tam olarak periyodik yasayı tanımlaması mümkün görünmemektedir. Bunlar kısıtlı olarak doğrulanabilir ifadelerdir, çünkü element özelliklerinde bu önermeleri geçersiz kılan anomaliler vardır. Halen kitaplarda geçen bu periyodik yasa ifadelerinin sınırları, doğruluğu ve buna bağlı olarak periyodik sistemin içerdiği bilgilerin (özellikle ders kitaplarında verilen genellemelerin) geçerliliğine yönelik öğrenci farkındalığının sağlanması kimya eğitimi açısından önemlidir. Bu yasa ifadelerinin fizik yasaları gibi olmadığı, periyodik sistemin kesin bir periyodik yasa gibi indirgenemez (özellikle kuantum kuramına dayalı) bir temeli olmadığı bilinmesi kimyasal bilginin doğasının anlaşılması için gereklidir. Çünkü kimya eğitiminde bu konuda bir farkındalığın olduğunu söylemek zordur. Periyodik sistemin kimya ders kitaplarında ağırlıklı olarak kuantum kuramına bağlı atom açıklamaları ile şekillenen belirli yapı kuralları ile tanımlandığı ve fiziksel bir temele oturtulduğu görülmektedir (Izquierdo-Aymerich, ve Aduriz-Bravo, 2009). Diğer taraftan kimya öğretmen ve öğrencilerinin periyodik sisteme ve periyodik yasanın epistemolojik niteliğine ilişkin anlayışlarını; periyodik eğilimlere ilişkin ifadelerin aslında yasalar olduğu ve nihai olarak periyodik sistemin yasalardan oluşmuş bir yapı olarak değerlendirilebileceği yönünde görüşleri belirlemektedir (Sarıtaş ve Tufan, 2013). Bu açıdan bakıldığında hem kimya kitaplarında hem de kimya öğretmen ve öğrencilerin anlayışlarında periyodik yasa ve periyodik sistemin niteliğine yönelik uygun olmayan yönler vardır.

#### 4.2. Periyodik Sistemi Etkili Kullanma

Kimya öğretiminden beklenen şey periyodik sistemin öğrenciler tarafından kullanışlı bir araç olarak kabul edilmesidir, başka bir ifade ile periyodik yasa ve sistem arasında ilişki kurarak bilgi üretmeleridir. Periyodik sistem sayesinde kimya öğretmenleri ve öğrencileri yüzden fazla elementin özelliklerini ayrı ayrı öğrenmek yerine tipik grup üyelerinin özelliklerini bilerek etkili



tahminlerde bulunabilirler (Scerri, 2007). Örneğin periyodik eğilimler periyodik tablonun tahmin gücünün önemli bileşenleridir (Hoffman ve Hennessy,2018). Özellikle mikro boyutta elektronik temelde elementlerin yaklaşık benzerlikleri ve farklılıkları üzerinden kullanışlı bir öğrenme aracıdır (Andrijko ve Lunk,2018).

Ancak gerek tarihsel gelişimi gerekse üzerinde yapılan felsefi yaklaşımlar periyodik sistemin matematiksel bir sistem gibi rasyonel olmadığını da göstermektedir (van Brakel,2014). Periyodik yasa ifadeleri ve periyodik sistemdeki element özelliklerini ifade eden önermeler arasında da aksiyomatik bir ilişki olmayacağı göz önünde tutulmalıdır, çünkü bir tahminde bulunulduğunda sürprizlerle karşılaşılabilir. Bu nedenle periyodik sistemin kullanılabilirliği açısından bakıldığında yukarıda verilen periyodik yasaya atfedilen önermelerden yola çıkarak elementlerin anomali davranışları ve aralarındaki farklı ilişkileri içeren periyodik sisteme yönelik geçerli tümdengelsel çıkarımlar yapmak mümkün değildir. Bu durum tersinden de düşünülebilir, elementlerin tekil özelliklerinden yola çıkarak tümevarımsal olarak bu önermelere ulaşmakta mümkün değildir. Başka bir ifade ile periyodik sistemden aksiyomatik ilişki çerçevesinde bir anlamda tek bir önermeye dayalı indirgemeci-tümdengelim ve onun totolojisini oluşturan tümevarımsal akıl yürütmelerle bilgi üretiminin söz konusu olmayacağını göstermektedir. Ancak kimya ders kitaplarında birden fazla özelliğin etkin olduğu asitlik gibi bazı periyodik eğilimlerin basit bir şekilde bir neden ile temellendirilmektedir (Fridgen, 2008). Ayrıca periyodik sisteme yönelik sınıf ortamında yapılan açıklamalarda belirli ve sınırlı nedensellik ilişkilerine dayalı olarak yoğun olarak formal anlamda tümdengelim kullanıldığını tümevarımın ise bunu doğrulayacak ve esasen yeni bir bilgi vermeyen bir totoloji oluşturacak şekilde kullanılmaktadır. Bu kullanımlarda grup ve periyodik eğilimlere ilişkin genellemeler temel öncüller olarak hem doğrulanmakta hem de elde edilmektedir. Ancak bu genellemelere uymayan anomali durumları öğretmenler ya görmezden gelmekte ya da “istisna durumlar” şeklinde etiketlenmektedirler (Sarıtaş,2013; Sarıtaş ve Tufan, 2012). Dahası bazı akademik çalışmalarda dahi periyodik elementlerin bireysel özelliklerini ihmal edecek derecede kimya açısından kabul edilebilir olmayan formal tümdengelim akıl yürütmeye açıkça yönlendiren anolojiler kullanılmaktadır<sup>1</sup> (örn. Azizoglu, Aslan ve Pekcan, 2015). Bu ise periyodik sistemi kullanarak bilgi üretilme sürecinde akıl yürütme biçiminin sorununa işaret etmektedir. Bu sorunun temelinde ise anomaliler ve bunların neden olduğu farklı ilişkiler, kısaca periyodik sistemin doğası vardır.

### 4.3. Periyodik Sistemin Doğası; Anomaliler ve Hipotetik-Dedüktif Akıl Yürütme Yöntemin Olası Katkıları

Sorunun çözümü için bilim felsefesi ve fen eğitim literatüründen bir öneride bulunulabilir. Bilimde karşılaşılan *anomali durumlar* bir fırsat niteliği taşır. Bilimsel metodolojide önemli etkiler bırakmış eleştirel akılcılığın önemli ismi olan Popper’ın yaklaşımına göre bu durumlar yeni bir alternatif açıklama arayışı için gerekli durumlardır ve bilimin bunlara karşı tutumu bunları mevcut kabullere uydurmaya çalışan veya bilginin genel geçerliğini korumaya yönelik ad-hoc açıklamalar getirmek değildir. Bilim mevcut kabullerin yanlışlanabilirlik temelinde test edilmesinde bu durumları bir fırsat bilmelidir (Popper, 2003). Popper’in kast ettiği süreç hipotetik-dedüktif süreçtir (Musgavre,2009). Diğer taraftan bu süreç fen eğitiminde gerekli görülen düşünme türlerinden birisi olan *hipotetik düşünmeyi* temel alır (Lawson,2003,2005). Fen eğitiminde öğrencilerin temel akıl yürütmelerden hangilerini kullandıklarını belirlemeye yönelik çalışmalardan elde edilen bazı sonuçlar bilimsel bilginin zihinde oluşum sürecinin, hipotetik-dedüktif olduğunu göstermektedir (Lawson, 2000). Buna göre, öğrencilerin temelde ne tam olarak induktif (tümevarımsal) ne de salt dedüktif (tümdengelsel) akıl yürütmektedirler. Her gelişim döneminde hipotetik-dedüktif yöneme bağlı akıl yürütmektedirler. Bilginin anomaliler içerecek şekilde sunulması öğrencilerin bu bilimsel akıl yürütme şeklinin gelişmesini sağlayabilir (Johnson ve Lawson, 1998; Lawson, Banks ve Logvin, 2007). Lawson’a göre öğrenciler kullandığı bu yöntemin önermesel yapısı ise,

bazı bağlaçlarla kurulan argümanlardır. Bunlardan oluşan ifadeye hipotetik-argüman adı verilmektedir ve argümanın kalıbı; “Eğer... ve ... ise... ve/ama... bu yüzden...”, şeklindedir (Lawson, 2000, s. 482).

Hipotetik-dedüktif yöntemde bir olguya ait ampirik bir bilgiden veya başka bir ifade ile a posteriori bilinen bir bilgiden yola çıkarak, bir hipotez çerçevesinde sınanabilir yeni bir bilgi üretimi söz konusudur ve bu yöntemde (Sarıtaş,2013);

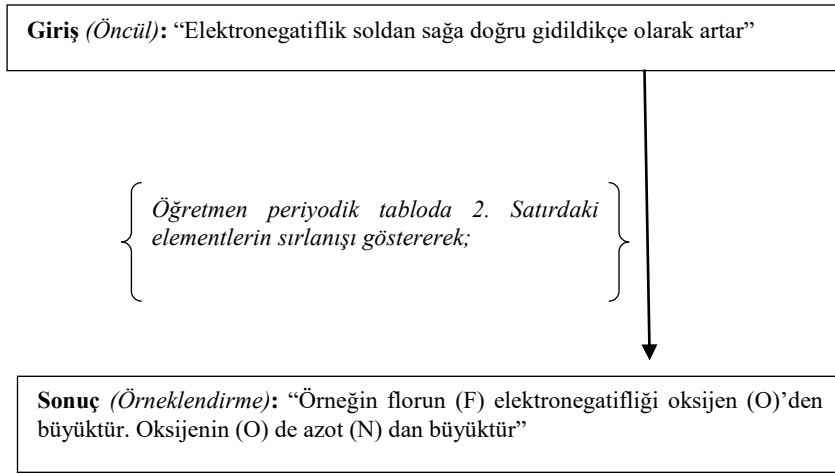
- Elde edilen bilginin doğruluğunun belirlenmesi, aynı zamanda temel alınan hipotezin test edilmesidir.
- Klasik tümdengelimde çıkarım temel alınan ve doğru kabul edilen hipotezden başlar. Hipotetik-dedüktif yöntemde ise çıkarım ise gözlemlenen olgudan başlar. Amaç olguya açıklama getirmektir.
- Hipotetik-dedüktif yöntemde hipotezin doğru kabul edilmesine gerek olmadan test edilmesi mümkündür.
- Hipotetik-dedüktif yöntemde elde edilen sonuç test edilen hipoteze belirli bir olasılık kazandırır.
- Hipotetik-dedüktif yöntemde test edilecek hipotezin ifade şekli önemlidir. Yanlışlanmaya müsait bir şekilde ifade edilirse (“Eğer... ve ... ise... ve/ama... bu yüzden...” ) test edilme imkânı daha da artar.

Periyodik sistemin öndeyiler ve sezgiye dayalı tarihsel gelişim süreci kimya eğitimi açısından önemlidir (Brito ve diğerleri,2005). Öndeyi ve sezginin ortaya çıkması için belli bilimsel önermelerden başka bilimsel önermeler çıkarmaya ve test etmeye imkân veren süreçler gerektiği açıktır. Bu bağlamda anomaliler ve farklı ilişkiler açısından oldukça zengin olan periyodik sistemin doğasına en uygun yöntemin ise yanlışlamaya dayalı hipotetik-dedüktif yöntem olduğu görülmektedir.

Türkiyedeki güncel öğretim programlarda periyodik sistemin periyodik yasaya indirgenerek ifade edildiği ancak kazanımların periyodik sisteme ait bilgilere yönelik ve üst düzey beceriler gerektirdiği görülecektir (MEB,2017). Bu açıdan bu kazanımlar klasik tümevarım ve tümden gelimsel akıl yürütmeye uygun görünmemektedir. Bu nedenle sınıf ortamında periyodik yasaya karşılık gelen söz konusu koşullu önermeden yola çıkılarak periyodik sisteme yönelik sırayla; a) *periyodik özellikler ve grup özelliklerine ait genellemeler*, b) *ardından elementlerin özelliklerine yönelik tekil önermeler*, formatına uygun olarak hipotetik- dedüktif yöntem ile test edilebilir. Böylece geçerliliği kısıtlı ve belirli sınırları olan genel ifadelerin test edilmesi, açıklanması ve sınırlarının ortaya çıkarılması mümkün olabilir. Ayrıca öğrencilerde hem hipotetik düşünme becerisinin gelişmesi hem de anomaliler ile periyodik sistemin gerçek niteliğinin fark edilmesi imkânı doğar. Başka bir ifade ile *bu yöntem hem kimyasal bilginin niteliğine yönelik anlayışlara hizmet edeceği gibi sistemin daha etkili bir şekilde kullanılmasına ve öğrencilerin periyodik tablonun işlevini takdir etmesine de yardımcı olabilir.*

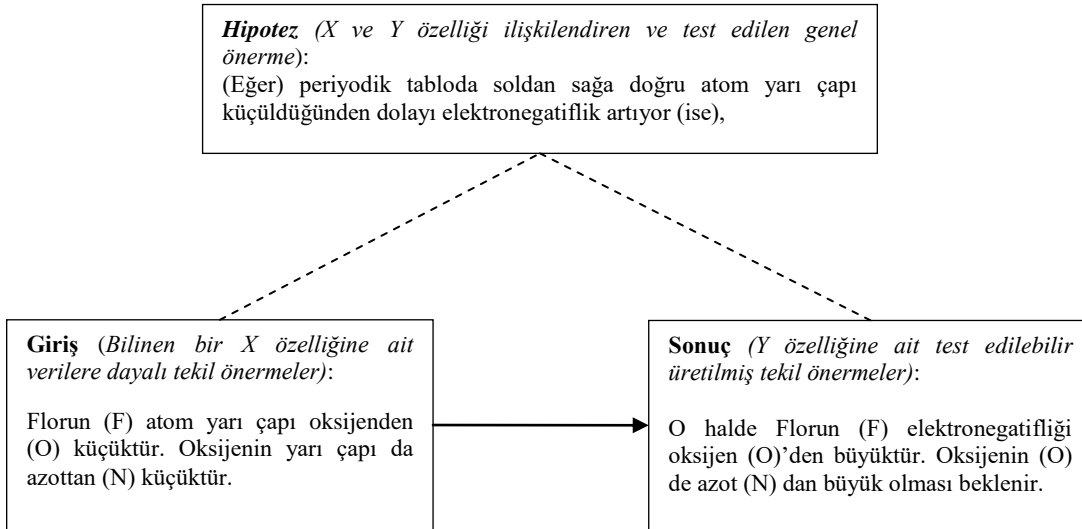
#### **4.3.1. Örnek bir uygulama ve yaygın yaklaşım ile karşılaştırma**

Sınıf ortamında “*Elementlerin özellikleri atom numaralarının periyodik bir fonksiyonudur*” şekilden kabul edilen periyodik yasadaki üretilen birçok genelleme büyük bir çoğunlukta tümdengelimsel verilmektedir (Sarıtaş, 2013). Aşağıda yaygın kullanılan bir periyodik eğilim üzerinden hipotetik-dedüktif yönteminin lokal anlamda nasıl uygulanacağına ilişkin bir örnek tümdengelimle karşılaştırılarak verilmiştir. İlgili kazanım; “*11.1.3.1. Periyodik özelliklerdeki değişim eğilimlerini sebepleriyle açıklar*” (MEB, 2017)



**Şekil 4.1. Bir periyodik özelliğin (eğilim) sınıf ortamında tümdengelimsel formda verilme şekli** (Kaynak: Sarıtaş,2013)

Söz konusu periyodik eğilim hipotetik-dedüktif yöntemle; iki farklı özelliği ilişkilendirmeye, bir özellikten yeni bir özelliğe çıkarım yapmaya, olgusal veriler ile teste tabi tutulmaya imkan tanıyan bir biçimde verilebilir.



**Şekil 4.2. Bir periyodik özelliğe (eğilim) ait bir genellemede hipotetik-dedüktif çıkarımın formal yapısı<sup>ii</sup>**

Burada üretilen sonuçların bilinenen olgusal veriler ile test edilmesi ve doğrulanması durumunda tümdengelimden farklı olarak hipotetik bir forma ifade edilen periyodik eğilim genellemesi (hipotez) olgusal anlamda desteklenmiş olur. Ayrıca olgusal veriler sayesinde öğrenenlere iki farklı özellik arasında anlamı bir ilişki kurmanın imkanını verilmiş olur. Diğer yandan bilinçli olarak periyodik sistemde sıkça rastlanan anomali örneklerle giriş yapılırsa, hipotez yanlışlanmış olacağından bilimsel bilginin niteliği ve sınırları noktasında da bir anlayış geliştirme imkanı doğabilir.

**Tablo 3. Hipotetik-dedüktif uygulama ile tümnden gelimsel uygulamanın karşılaştırılması**

Hipotetik-Dedüktif	Tümdengelimsel
Giriş örnek (tekil) durum bilgileri ile başlamaktadır	Giriş bir genelleme ile başlamaktadır
Giriş bilgisinde ifade edilen özelliklerle sonuç bilgisinde ifade edilen özellikler birbirinden farklıdır	Giriş ve sonuç bilgisi aynı özelliklere ilişkindir.
Elde edilen sonuç hipotezi test etmek için kullanılır ve mutlak değildir.	Elde edilen sonuçta giriş genellemesi doğrulanmış olur
Test edilecek hipotez giriş ve sonucu birbirine bağlayacak şekilde oluşturulur	Bir hipotez söz konusu değildir, bir kabul vardır (temel öncül)
Sonuç ve hipotez koşullu ve yanlışlanabilir şekilde ifade edilir	Sonuç genel geçer biçimlerde ifade edilir

Hipotetik-dedüktif çıkarımın periyodik sisteme ilişkin genellemeler (örn. periyodik özellikler ve grup özellikleri vb.) için prosedürleri ise şu şekilde sıralanabilir;

1. **Giriş:** Bir X özelliğine ilişkin elementlerden örnekler verme (periyodik tablo üzerinden)
2. **Hipotez:** X özelliği ile farklı bir Y özelliği arasındaki ilişkiye yönelik hipoteze yönlendirme (genellemeyi hipotetik forma ifade etme/ettirme)
3. **Sonuç:** X özelliği ve Y özelliği arasındaki ilişkiyi aynı elementlere tümnden gelim yapma
4. **Test:** Sonucu ampirik ve deneysel bilgiler ile (örn. referans kaynaklar ile) test etme
  - a. *Sonuç olumlu ise, elementlerin Y özelliğine ilişkin yeni bir bilginiz var demektir.*
  - b. *Sonuç olumsuz ise hipotezi; elementlerin X ve Y özellikleri arasındaki ilişkiyi kontrol etme ve yeni bir hipoteze yönlendirme ve yeniden tümnden gelim yapma*
  - c. *Sonuç olumsuz ise genellemenin sınırlılığına ve anomali duruma dikkat çekme.*

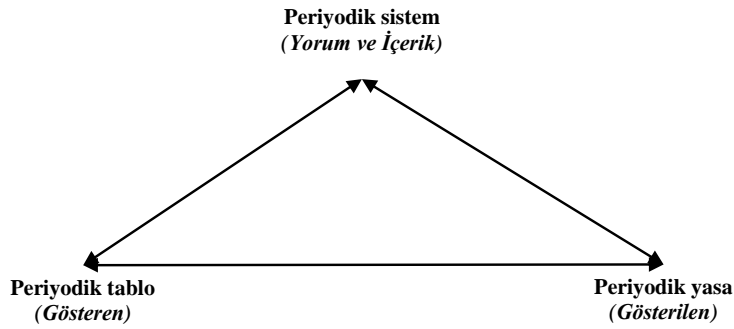
Öğretmenlerin ve öğrencilerin periyodik tablodan ürettikleri bilgiler arasında totoloji ve nedensellik sorunları olduğu ve ayrıca periyodik eğilimlere ait genellemeleri de birer yasa olarak benimsedikleri bilinmektedir (Sarış ve Tufan, 2012; 2013). Bu nedenle tümnden gelimle (Şekil 3) elementin elektronegatifliği ve periyodik tablodaki yeri arasında uygunsuz bir nedensellik bağlantısı kurulması ve yeni bir bilgi üretmeye imkân vermeyen totolojik çıkarımların önüne bu yöntemle geçilebilir. Bu yöntemin hem yeni bilgi üretme hem periyodik değişimin nedenlerini açıklama (örn kazanım; 11.1.3.1. MEB,2017) hem de genellemelerin yasalar değil anomaliler içeren bilgiler olarak niteliğini kavrama noktasında işe yaraması mümkündür. Bu yöntem aynı zamanda bir hipoteze dayandığı için bilimsel süreç becerilerinden hipotez kurma ve test etmeyi destekleyici niteliktedir.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kimya geliştikçe periyodik tablo da gelişmiştir ve hem tanımlanması hemde kullanımındaki esnekliğinden dolayı kimyanın simgesi olan bu yapı güçlü ve derin bir şekilde yararlı olmuştur ve günümüzde birçok anlamı vardır (Scerri and Restrepo, 2017). Bu nedenle kimya eğitiminde bu potansiyelin etkili kullanılması gerekir.

Güncel kimya öğretimi programlarında bakıldığında “kimyasal bilginin niteliği” ve “bilimsel düşünme” ye yönelik amaçlar; “bilgiyi kullanabilmeleri, eleştirel düşünebilmeleri, analiz ve sentez yapabilmeleri...Kimya biliminin temel kavramları, ilkeleri, modelleri, teorileri ve yasaları hakkında bilgi edinmeleri...” şeklinde ifade edilmektedir (MEB, 2017). Bu anlayış dikkate alındığında kimyanın semiyotik bir unsuru olan periyodik tablo göndergesindeki periyodik yasa ve periyodik sistemin içerdiği bilgilere uygun bilimsel düşünme yöntemleri ile ulaşmada bir anahtar görevi görmek zorundadır.

Böylece iki temel hedef sağlanabilir geçerli bilimsel akıl yürütmeler temelinde hem bilimsel düşünme geliştirilebilir hem kimyasal bilginin niteliği daha uygun kavranabilir. Bunlardan birincisi periyodik yasa ve sistem arasında mantıksal bir bağ kurulmasına imkân verirken, diğeri bu mantıksal bağı zedeleyebilecek anomalileri bir dezavantaj olmaktan çıkarıp, içerik kazanımları bir tarafa kimyasal bilginin niteliğine yönelik kazanımlar açısından bir avantaj haline getirilebilir. Yapılması gereken periyodik yasa ve periyodik sistem ilişkisini sağlıklı kurmaktır. Bu ise sisteme kabuller üzerinden tümdengelimsel veya tümevarımsal değil daha çok eleştirel bir yöntemle mümkündür. Periyodik tablonun gelişim sürecinin, bilim insanlarının elementlerin deneysel özelliklerini anlamak için çeşitli teorik fikirler sundukları sürekli bir eleştirel değerlendirme ile yürüdüğü söylenebilir (Brito ve diğerleri, 2005). Ayrıca öğrencilerin elementlerin özelliklerinin tümevarımsal elde edilebileceğine ilişkin eleştirel olmayan bir kullanımın hatalara neden olabileceğine yönelik uygun bir tutum ancak tarihsel gelişimin öğretim ortamına entegre edilmesi ile sağlanabilmiştir (Ben-Zvia ve Genuta 1998). Bu nedenle özünde eleştirel düşünme olan ve temelde Mendeleev'in öngörülerinde kullandığı akıl yürütmeye özdeş olan hipotetik-dedüktif yöntem periyodik sistemi anlamda ve kullanmada daha etkili olacaktır. Kimyada yaygın olan ve özellikle periyodik sistemde de ortaya çıkan anomalilere alternatif bir hipotez geliştirmek, bu hipotezi sınamak şeklinde en genel hali ile uygulanabilir. Bu hem bilimsel düşünme hem de kimyanın doğasının ve kimyasal epistemolojinin niteliklerinin kavranmasında katkı sağlayabilir.



**Şekil 5.1. Görsel unsur olan periyodik tablo ve göndergesindeki periyodik yasa ve sistem ilişkisine yönelik semiyotik modelleme; semiyotik üçgen**

Bu katkıların sağlanması için öğretim sürecine yönelik bazı olası öneriler şu şekilde sıralanabilir;

1. Konu tarihsel gelişimi içinde yasa ve sistemdeki sürekli yapılanma ve değişime yönelik farkındalık oluşturma girişimleri gereklidir. Bu sayede hem bilimin doğası hem de kimyanın alana özgü epistemolojisi ile ilişkilendirme yapılabilir.
2. Periyodik yasa ve mevcut periyodik sistemin özellikleri (anomaliler ve farklı ilişkiler) üzerinden kimyasal bilginin çeşitliliği ve kendine has doğasına dikkat çekilebilir (örn. Epistemolojik olarak indirgenemezlik)
3. Periyodiklik ve grup özelliklerini ifade eden genellemelerin geçerlilik düzeyleri belirtilmeli ve bunların pragmatik kullanımına dikkat çekilmelidir.
4. Periyodik tabloda elementlere getirilen sınıflandırmada temel kriterin pragmatik bir amaçla kimyasal davranışlara dayalı benzerlik olduğuna yönelik farkındalık oluşturmak gerekir (Nitel yaklaşım). Elementlerin bazı fiziksel özelliklerine ilişkin nicel verilerin ise ancak nitel anlamda birbiri ile kıyaslanması öne çıkarılabilir.
5. Kimyasal davranışın nedenselliği noktasında fizik kuramlarına dayalı genel geçer bir kural veya yasa ortaya koymak mümkün olmadığından, yukarıda ifade edilen yasa tanımları gibi

bilgileri apriori kural veya yasalar şeklinde tanımlamaktan ve öğrenciler sunmaktan kaçınmak gerekir.

6. Konunun tarihsel gelişimde bilimin metodolojik süreçlerine (örn. bulma, doğrulama, test etme ve ön deyide bulunma, yanıtlama vb.) ve bu süreçlerde hangi akıl yürütmelerin (örn. tümevarım, tümdengelim vb.) daha etkin ve uygun olduğuna dikkat çekilebilir.
7. Periyodik yasa ve sistem ilişkisinin kurulmasında hipotetik düşünmeyi teşvik etme ve hipotetik-dedüktif akıl yürütmeye yönlendirme yapılabilir. Mevcut periyodik sistemdeki bilgiler (periyodik yasa ifadesi, periyodik eğilimler ve grup özellikleri gibi bilgiler ile elementlerin tekil bilgileri arasındaki ilişki önermeleri) anomalileri ve farklı ilişkiler üzerinden hipotetik-dedüktif yöntem kullanılarak test edilebilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Alexander, S.V., Sevcik, R.S., McGinty, R.L., & Schultz, L.D. (2008). Periodic table target: a game that introduces the biological significance of chemical element periodicity. *Journal of Chemical Education*, 85 (4), 516-517. Doi: 10.1021/ed085p516
- Andrijko, A.A., & Lunk, H.J. (2018). The short form of mendeleev's periodic table of chemical elements: toolbox for learning the basics of inorganic chemistry. a contribution to celebrate 150 years of the periodic table in 2019. *ChemTexts* 4, 4. <https://doi.org/10.1007/s40828-018-0059-y>
- Aydın, A. (2008). Ortaöğretim Kimya Dersi Öğretim Programında Periyodik Sistem ile İlgili Kavramların Veriliş Sırasının İncelenmesi (A.B.D ve Türkiye Örneği). *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (1), 76-84. [Çevrim-içi: <http://fbed.balikesir.edu.tr/index.php/dergi/article/view/307>], Erişim tarihi,09.06.2016.
- Ayvacı, H.Ş. & Bebek, G. (2017). 2013 yılında revize edilen fen bilimleri dersi öğretim programı'nda yer alan kazanımların incelenmesi: model oluşturma ve kullanma konusu. *Hasan Ali Yücel Eğitim Fakültesi Dergisi 14-1* (24), 89-104.
- Azizoğlu, N., Aslan, S., & Pekcan, S. (2015). The periodic system and teaching with analogies model: the effects of teaching method, gender and motivation on students' achievement. *Elementary Education Online*, 14(2), 472-488. <https://doi.org/10.17051/ieo.2015.39450>, Retrieved on May 01, 2018.
- Ben- Zvia, N., & Genuta, S. (1998). Uses and limitations of scientific models: the Periodic Table as an inductive tool. *International Journal of Science Education*, 20 (3),351-360. <http://dx.doi.org/10.1080/0950069980200307>
- Bensaude, V.B. (1986). Mendeleev's periodic system of chemical elements. *British Journal for History of Science*,9, 3-17.
- Boyle, R. (2003). *The Sceptical chymist*, (The Classic 1661 Text). New York: Dover Publication. [Available online at: [http://hti.osu.edu/sites/default/files/robert\\_boyle\\_skeptical\\_chemist.pdf](http://hti.osu.edu/sites/default/files/robert_boyle_skeptical_chemist.pdf).], Retrieved on January 22, 2012.
- Brito, A. Rodrı'guez, M.A., & Niaz, M. (2005). A reconstruction of development of the periodic table based on history and philosophy of science and its implications for general chemistry textbooks. *Journal of Research In Science Teaching*, 42(1), 84-111. Doi:10.1002/tea.20044
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2014). *Genel kimya*, Ankara: Palme Yayıncılık
- Çüçen, A. K. (2006). *Mantık*. Bursa: Asa Kitabevi.
- Demir, Ö. (2000). *Bilim felsefesi*. Ankara: Vadi Yayınları.
- Diener, L. & Moore, J.W. (2011). It's Elemental! *Science Teacher*, 78(5), 40-43. [Available online at: <https://www.learntechlib.org/p/50517/>], Retrieved on September 01, 2017.
- Erduran S. (2017) Visualizing the Nature of Science: Beyond Textual Pieces to Holistic Images in Science Education. In: Hahl K., Juuti K., Lampiselkä J., Uitto A., Lavonen J. (eds) *Cognitive and Affective Aspects in Science Education Research. Contributions from Science Education Research*, vol 3. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-58685-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58685-4_2)
- Erduran, S. (2007). Breaking the law: promoting domain-specificity in chemical education in the context of arguing about the periodic law. *Foundations of Chemistry*,9 (3),247-263. doi:10.1007/s10698-007-9036-z
- Erduran, S., Aduriz A.B., & Naaman, R.M., (2007). Developing epistemologically empowered teachers: examining the role of philosophy of chemistry in teacher education. *Science & Education*,16(9-10),975-989. Doi:10.1007/s11191-006-9072-4

- Farrer, N. J., Monk, N., Heron, J., Lough, J.A., & Sadler, P. J. (2010). Chemistry, performance, and pedagogy: an interactive approach to periodic trends. *Chemistry Education Research and Practice*, 11 (4), 308-313. Doi: 10.1039/C0RP90011G
- Firsching F. H. (1981). Anomalies in the periodic table. *Journal of Chemical Education*, 58 (6), 478. Doi: 10.1021/ed058p478
- Fridgen, T.D. (2008). The correlation of binary acid strengths with molecular properties in firstyear chemistry. *Journal of Chemical Education*, 85 (9), 1220-1221. Doi: 10.1021/ed085p1220
- Grünberg, T. (2005). *Felsefe ve felsefi mantık*. İstanbul: Yapı Kredi Yayınları.
- Hall. M.B. (1968). The history of the concept of element. In D. Stephen and L. Cardwell (Eds.), *John Dalton and the progress of science* (pp. 21–39). New York: Manchester University Press.
- Hendry, R.F. (2012a). Elements. In D. M. Gabbay, P. Thagard, & John Woods. (Gen.Eds.), R, F. Hendry, P. Needham & A.I. Woody (Vol.Eds.). *Handbook of the philosophy of science, philosophy of chemistry* (V.6), (pp.255-265). Amsterdam: North Holland- Elsevier.
- Hendry, R.F.(2012b). Reduction, emergence and physicalism. In D. M. Gabbay, P. Thagard and John Woods. (Gen.Eds.), R, F. Hendry, P. Needham and A.I. Woody (Vol.Eds.) *Handbook of the Philosophy of Science, Philosophy of Chemistry* (V.6), (pp.367-386). Amsterdam: North Holland- Elsevier
- Hettema, H., & Kuipers, T. A. F. (1988). The periodic table – its formalization, status, and relation to atomic theory. *Erkenntnis* 28, 387–408. [Available online at: <http://www.rug.nl/research/portal/files/3378064/485.pdf>], Retrieved on April 05, 2016.
- Hoffman, A., & Hennessy, M. (2018). The people periodic table: A framework for engaging introductory chemistry students. *J.Chem.Educ.*, 95 (2), 281-285. Doi:10.1021/acs.jchemed.7b00226
- International Union of Pure and Applied Chemistry. (2016). *IUPAC periodic table of the elements*. [Available on line at: <https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/>], Retrieved on August 15 2017.
- Izquierdo-Aymerich, M., & Aduriz-Bravo, A. (2009). Physical construction of the chemical atom: is it convenient to go all the way back? *Science & Education*, 18 (3-4), 443-455. Doi:10.1007/s11191-008-9156-4
- Joaquin, A., Jose' Maria, O.M., & Almoraima, M.L. (2015). Students' perceptions about the use of educational games as a tool for teaching the periodic table of elements at the high school level. *Journal of Chemical Education* 92 (2), 278-285.
- Johnson, M.A., & Lawson, A.E. (1998). What are the relative effects of reasoning ability and prior knowledge on biology achievement in expository and inquiry classes. *Journal of research in science teaching*, 35 (1), 89-103.
- Karol, P.J., Barber, C.R., Sherrill, M.B., Vardaci, E., and Yamazaki, T. (2016). Discovery of the element with atomic number  $Z = 118$  completing the 7th row of the periodic table (*IUPAC Technical Report*). <https://doi.org/10.1515/pac-2015-0501>, Retrieved on May 01, 2017.
- Katz, G. (2007). *Post mendeleevian evolution of the periodic table? Periodic round table*. [Available on line at: [http://www.periodicroundtable.com/PostMendeleevian\\_GKatz.pdf](http://www.periodicroundtable.com/PostMendeleevian_GKatz.pdf)], Retrieved on October 14, 2011.
- Katz, G. (2001). An eight-period table for the 21st century. *Chemical Educator*, 6(6), 324-332.
- Laing, M. (2001). Periodic Patterns. *Journal of Chemical Education*, 78 (7), 877. Doi: 10.1021/ed078p877.1
- Lawson, A.E. (2003). The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1387-1408.
- Lawson, A.E. (2005). What is the role of induction and deduction in reasoning and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (6), 716-740.
- Lawson, A.E., Banks, D. L., and Logvin, M. (2007). Self-efficacy, reasoning ability, and achievement in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 44 (5), 706724.
- Lawson, A.E. (2000). The generality of hypothetico-deductive reasoning: making scientific thinking explicit. *The American Biology Teacher*, 62(7), 482-495.
- Matthews, M.R. (2015). *Science Teaching: The Contribution of History and Philosophy of Science (20th anniversary revised and expanded edition)*. New York: Routledge
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2009). *Ortaöğretim kimya 10 ders kitabı*. İstanbul: Devlet kitaplar (1355).

- Milli Eğitim Bakanlığı. (2013). *Ortaöğretim kimya dersi (9,10,11 ve 12. Sınıflar) öğretim programı*. Ankara: Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı.
- Milli Eğitim Bakanlığı. (2017). *Ortaöğretim kimya dersi (9,10,11 ve 12. Sınıflar) öğretim programı*. Ankara: Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı.
- Musgrave, A. (2009). Popper and hypothetico-deductivism. In S. Hartmann and J. Woods. (Eds.), D.M. Gabbay, P. Thagard and J. Woods (Gen.Eds.), *Handbook of The History of Logic*. Volume 10: Inductive Logic. (pp.205-235). Elsevier BV.
- Niaz M., Rodriguez M.A., & Brito A. (2004). An appraisal of Mendeleev's contribution to the development of the periodic table. *Studies in History and Philosophy of Science*, 35 (2), 271-282. Doi: 10.1016/j.shpsa.2003.12.014
- Niaz, M. (2016). History and philosophy of science as a guide to understanding nature of science. *Revista Científica*, 24, 7-16. doi: 10.14483/udistrital.jour.RC.2016.24.a1
- Ostrovsky, V. N. (2001). What and how physics contributes to understanding the periodic law. *Foundations of Chemistry* 3(2), 145–182. Doi:10.1023/A:1011476405933
- Peirce, C. (1982). *Writings of Charles S. Peirce. Vol.1*, Bloomington: Indiana University Press
- Popper, K. R. (2003). *Bilimsel araştırmanın mantığı*. (Çev.İ. Aka ve İ. Turan). İstanbul: Yapı Kredi Yayınları. (Eserin orijinali 1934'de yayımlandı).
- Post, D.E. (2016). The Periodic Table of Elements, an Early Example of "Big Data". *Computing in Science & Engineering*, 18 (3), 4-7. Doi: 10.1109/MCSE.2016.63
- Rayner-Canham G. & T. Overton. (2002). *Descriptive inorganic chemistry*. New York: Freeman.
- Rayner-Canham. G. (2000). Periodic patterns. *Journal of Chemical Education* 77, (8), 1053. Doi: 10.1021/ed077p1053
- Reedijk, J. (2018). Row 7 of the periodic table complete: Can we expect more new elements; and if so, when? *Polyhedron* 141, 1-4. doi: 10.1016/j.poly.2017.10.037
- Reichenbach, H. (2006). *Bilim felsefesinin doğuşu*. (Çev.C. Yıldırım), Ankara: Bilgi Yayınevi. (Eserin orijinali 1951'de yayımlandı).
- Restrepo, G., Mesa, H., Llanos E., & Villaveces, J. L. (2004). Topological study of the periodic system. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*. 44(1), 6875.
- Restrepo, G., & Pachón, L.A. (2007). Mathematical aspects of the periodic law. *Foundations of Chemistry*, 9(2), 189-214.
- Rothchild, I. (2006). *Induction, deduction and the scientific method: An eclectic overview of the practice of science*. By the Society for the Study of Reproduction, Inc. [Available online at: <http://www.ssr.org/Induction.shtml>.], Retrieved on March 25, 2010.
- Sarıtaş, D. (2013). *Periyodik sistemin öğretim sürecinde oluşan rasyonel bilginin; üretimi, epistemolojisi ve metodolojisi*. Yayımlanmamış doktora tezi. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sarıtaş, D., & Tufan Y. (2012). Periyodik sistemin öğretiminde epistemolojik bilgi üretme yöntemlerinden biri olan tümevarımın kullanımı. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 20(1), 203-218.
- Sarıtaş, D., & Tufan Y. (2013). *Periyodik sistemin epistemolojik niteliğine yönelik anlayışlar*. 3.Ulusal Kimya Eğitimi Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Scerri, E., & Restrepo, G. (Eds). (2018). *Mendeleev to Oganesson: A Multidisciplinary Perspective on the Periodic Table*. New York, NY: Oxford University Press.
- Scerri, E. (1994). *Has chemistry been at least approximately reduced to quantum mechanics?* In D. Hull, M. Forbes, and R. Burian (Eds.). PSA,1994: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association (pp. 160-170). University of Chicago Press
- Scerri, E. (1996). Stephen Brush, the periodic table and the nature of chemistry. In: P. Janich, & N. Psarros (Eds.), *Die sprache der chemie* (pp. 169-176). Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Scerri, E. (1998). How good is the quantum mechanical explanation of the periodic system? *Journal of Chemical Education*, 75(11), 138485. Doi: 10.1021/ed075p1384
- Scerri, E. (2001). The new philosophy of chemistry and its relevance to chemical education. *Chemistry Education: Research and Practice In Europe*, 2 (2), 165-170.



- Scerri, E. (1991). The electronic configuration model, quantum mechanics and reduction. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 42(3), 309-325.
- Scerri, E. (1997). Has the periodic table been successfully axiomatized? *Erkenntnis*, 47(2), 229-243. doi: 10.1023/A:1005318720779
- Scerri, E. (2007). *The periodic table: its story and its significance*. New York: Oxford University Press.
- Schummer, J. (2004). Philosophie der chemie: rück- und ausblicke. Erscheint in K. Griesar (Hg.), *Wenn der Geist die Materie küßt* (s.1-12). Frankfurt: Harry Deutsch
- Schurz, G. (2005). Bayesian H-D confirmation and structuralistic truthlikeness: discussion and comparison with the relevant-element and the content-part approach. In T. Kuipers and R. Festa (Eds.) *Logics of Scientific Discovery* (pp.141-159). Amsterdam: Rodopi.
- Sprenger, J., (2011). *Hypothetico-deductive confirmation*. [Available online at: <http://www.laeuferpaar.de/papers.html>], Retrieved on December 22, 2011.
- Tierney, J. (2008). Forecasting periodic trends: a semester-long team exercise for nonscience majors. *Journal of Chemical Education*, 85(9), 1215-1217. Doi:10.1021/ed085p1215.
- Tunali, N. K., & Ökar, S. (1997). *Anorganik kimya*. Ankara: Gazi Üniversitesi Yayınları.
- van Brakel, J. (2014). Philosophy of science and philosophy of chemistry. *HYLE--International Journal for Philosophy of Chemistry* 20(1), 11-57.
- Wang S.G., & Schwarz. H.E.W. (2009). Icon of chemistry: the periodic system of chemical elements in the new century. *Angewandte Chemie International Edition*, 48 (19), 3404-3415.
- Wiediger, S.D. (2009). Implementing a computer program that captures students' work on customizable, periodic-system data assignments. *Journal of Chemical Education*, 86(10), 1212-1215. Doi: 10.1021/ed086p1212.
- Woelk, K. (2009). Matching element symbols with state abbreviations: a fun activity for browsing the periodic table of chemical elements. *Journal of Chemical Education*, 86(10), 1205-1207. Doi: 10.1021/ed086p1205.
- Yıldırım, C. (1985). *Bilim felsefesi*. İstanbul: Remzi Kitabevi.

### Extended Abstract

The importance of the philosophical and historical perspectives of science has been emphasized in science education (Matthews 2015). More particularly, it is stated that the philosophy of chemistry will contribute to the understanding of the nature of chemical knowledge in chemistry education (Erduran and Scerri, 2002). On the other hand, when the chemistry curricula developed over the last decade are examined, it could be said that the unique nature of chemical knowledge has become prominent (MEB, 2013). The periodic table is stated as one of the most typical examples reflecting the nature of chemical knowledge and it is important in the domain-specific approach to chemistry education (Erduran, 2007). The aim of this article is to draw attention to the epistemological nature of the periodic table in terms of its historical developmental process, which is rarely found in chemistry textbooks, and to open a door to the idea that this nature is an advantage in terms of chemistry education.

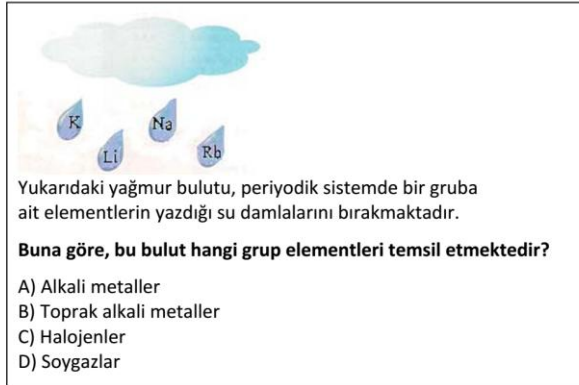
In many chemistry teaching programs around the world, the effective use of periodic table is aimed on the basis of learning outcome (Aydın, 2008). When the studies related to the periodic table are examined in the chemistry education literature, it could be seen that the studies are aimed to provide the learning of the periodic table with its current state. However, the epistemological characteristics of the table could serve to the chemistry education in different dimensions such as; effective use of the table and understanding of the nature of chemical knowledge. The key point here is the periodic law and the periodic system relation. To understand the nature and the importance of this relation, firstly it is necessary to recognize the distinction between the three basic concepts- the periodic table, the periodic law and the periodic system. Given this distinction, the story of the periodic law and the story of evolving-developing periodic system for the explanation of the periodic law could present important clues in terms of chemistry education. Although there are different expressions in the historical process, the periodic law can only be expressed in such a way as to allow a reference such as (a similar expression Scerri, 2007: 16); *If the elements are ordered by.... and..., in the elements the approximate repetition of the chemical properties are observed after certain regular but variable intervals*. An order based on a criterion reveals the periodic table. The periodicity, which is the most important characteristics of the

periodic table, is a problematic issue at present. It is possible to encounter anomalies in general periodicity. There are also other relations apart from the general periodicity (e.g. first-member anomaly, diagonal relationships, secondary periodicity). Again, the groups obtained in the cluster analyzes made by the topological studies on the elements are quite different from the existing groupings (Restrepo ve Pachón, 2007). For this reason, the most appropriate label to be given to a scientific product with a different and complex relation is 'Periodic System'. It is clear that the periodic system has a more general and theoretical meaning, including the concepts of periodic table and periodic law.

Considering the historical adventure of the subject, there are two different approaches for determining which characteristics are the criteria for periodicity (Scerri, 2007); (1) the approach which prioritizes qualitative similarities between elements (qualitative) and (2) the approach which prioritizes distinguishing quantitative physical data linked predominantly to atomic properties (quantitative). The first of these seems to be generally accepted by the chemists, the other seems to be accepted by the physicists' depending on the idea that chemistry can be reduced to physics at many points. After Mendeleev revealed the law, it appears that the process continued with the predictions of the elements in the blank spaces in the table tested (hypothetical-deductive), with the newly found elements, in accordance with the first view. After Moseley's work, the effect of the second view seems to have increased. In this process, the influence of the physics theory on the system, the periodical law and the approach to the periodical system have changed to a more reducible direction. In other words, there has been a transition from the tendency of deductive testing of the law with a hypothetical approach, to the tendency to obtain a reductionist-deductive one, from an advanced physics theory. However, this approach does not seem appropriate in terms of the characteristics of today's periodic system (Scerri, 1997).

In summary, periodic table, which is a semiotic element of chemistry, should act as a key in reaching the knowledge included in the periodical law and periodic system of the referent. It could be said that the developmental process of the periodic table has gone through a continuous critical evaluation of various non-temporal theoretical ideas (Brito, et al., 2005). It is also clear that the nature of the periodic system including the anomaly and different relations is influential on this process. This nature of the periodic system could also be used effectively in the classroom environment. This nature could lead to a logical connection between valid scientific reasoning and the system of law, and on the other hand it could be an advantage in terms of learning outcomes in the quality of chemical knowledge by removing the anomalies that force to control the connection. It seems that the healthy establishment of the periodic law and the periodic system relation with the present situation does not seem to be possible by deductive or inductive derivation over systemic assumptions. It might possible with a critical approach that anomaly conditions are effective. For this reason, the hypothetical-deductive method, which is essentially critical thinking and essentially identical to the reasoning used by Mendeleev for his predictions, might be more effective in understanding and using the periodic system. This method could be applied in its most general form as an alternative hypothesis to anomaly situations and to test this hypothesis. This could contribute not only to scientific thinking, but also to the understanding of the nature of science and to the comprehension of epistemological qualities of chemical knowledge.

## Son Notlar



Yukarıdaki yağmur bulutu, periyodik sistemde bir gruba ait elementlerin yazdığı su damlalarını bırakmaktadır.

**Buna göre, bu bulut hangi grup elementleri temsil etmektedir?**

A) Alkali metaller  
B) Toprak alkali metaller  
C) Halojenler  
D) Soygazlar

(Kaynak; Azizoğlu, Aslan ve Pekcan, 2015). Bu analogi, “aynı grup elementler aynı özelliği gösterir” kavram yanılığının temel alındığı bir tündengelim akıl yürütmeye teşvik etmektedir.

<sup>ii</sup> Bu lokal format fen eğitiminde yaygın olan modellere entegre edilebilir. Örneğin Fen eğitimde yaygın kullanılan 5E modelinin Transfer Etme, Derinleşme vb. aşamaları ve yine teknik olarak TGA (Tahmin-Gözlem-Açıklama) nın bir versiyonu olarak yapılandırılabilir.