

KURŞUN(II) ASETAT KOORDİNASYON POLİMERLERİ

Şebnem Esen SÖZERLİ^{1*}

¹Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE

Özet: Çok çeşitli topolojileri ve kataliz, moleküler tanımlama, ayırma, gaz depolama, iyon değişimi, kimyasal sensörler, manyetizm, doğrusal olmayan optikler ve lüminesans gibi pek çok olası uygulamaları nedeniyle çok çeşitli olağandışı yapılar ve özellikler gösteren koordinasyon polimerlerinin tasarım ve sentezi giderek artan öneme sahiptir. Son yıllarda, metal karboksilatları metal-organik çerçeve malzemeleri olarak olası uygulamaları ile literatürde öne çıkmaktadır. Ağır p-blok metal iyonu olan Pb(II), değişken koordinasyon sayısı ve stereokimyasal aktivitesi ile ilgi çekici fiziksel özellikler gösteren olağanüstü ağ topolojileri inşa etmeye uygunluğu nedeniyle dikkat çekici bir ilgiye sahiptir. Bu derlemede, asetat ve N-verici atomlu organik ligandlar içeren kurşun(II) koordinasyon polimerlerinin yapılarından bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Kurşun(II) kompleksleri, Asetat, Koordinasyon polimeri*

LEAD(II) ACETATE COORDINATION POLYMERS

Abstract: The design and synthesis of coordination polymers with unusual structures and properties have growing interest due to their diverse topologies and numerous potential applications in catalysis, molecular recognition, separation, gas storage, ion exchange, chemical sensing, magnetism, nonlinear optics and luminescence. In recent years, metal carboxylates have appeared as metal-organic framework materials with potential applications in the literature. Lead(II) as a heavy p-block metal ion with flexible coordination environment and variable stereochemical activity has considerable attention because of the suitability to construct incredible network topologies with intriguing physical properties. In this review, structures of the lead(II) coordination polymers containing acetate and N-donor organic ligands are described.

Keywords: *Lead(II) complexes, Acetate, Coordination polymer.*

*Şebnem Esen SÖZERLİ

ssozerli@gmail.com

1. GİRİŞ

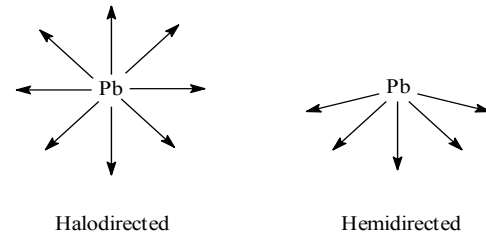
Gösterdikleri yapısal çeşitlilik ile sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özellikler nedeniyle çok geniş bir yelpazede ve sürekli artan sayıda uygulamalara sahip olan metal-koordinasyon polimerleri üzerindeki çalışmalar oldukça yoğun ve ilgi çekicidir. Bir koordinasyon polimeri, sonsuz dizide koordine olabilen organik ligandların metal iyonlarına köprü bağlanması ile oluşan yapıdır. “Koordinasyon polimeri” geniş anlamda kullanılan bir terimdir. Bu polimerik yapılar porozite gösteriyor ise “metal-organik çerçeve” (metal-organic frameworks, MOFs) olarak adlandırılırlar. 1990’lı yılların başından itibaren polimerik ve bazıları gözenekli yapıdaki bu malzemeler üzerine araştırmalar hızlı bir şekilde artmaktadır [1-4]. Koordinasyon polimerlerinin yapı ve özellikleri nedeniyle, bu bileşikler fonksiyonel malzeme [5], iyon değişimi [6], ayırma [7], gaz depolama [8], katalizör [9,10], manyetik malzemeler [11], doğrusal olmayan optikler [12], sensörler [13], lüminesans [14-16], nano-malzemeler [17] ve daha birçok olası uygulama alanları bulunmaktadır.

Koordinasyon polimerlerinin yapı ve özelliklerine etki eden en önemli faktörlerden ikisi metal iyonları ve organik ligandların geometrik ve elektronik özellikleridir [18, 19]. Diğer faktörler; çözünenlerin polariteleri [20], hidrojen bağı gibi ikincil etkileşimler, π - π etkileşimleri, karşıt iyonlar, ikincil ligand [21], reaksiyon ortamının pH değeri, sıcaklık ve diğer etkililerdir.

Son zamanlara kadar koordinasyon polimerleri ile ilgili araştırmaların çoğu *s*-, *d*- ve hatta *f*-blok metal iyonlarının koordinasyon merkezinde olduğu çalışmalardır. *p*-blok metallerinin lüminesans, fotovoltajik (ışık-elektriksel) dönüştürme, floresan sensörler, organik ışık-yayan diyotlar (OLED) ve doğrusal olmayan optikler [12, 14, 22-24] gibi önemli

uygulamaları olmasına karşın periyodik tabloda en az çalışılan metaller olmuşlardır. Ancak son yıllarda özellikle Pb(II) metal iyonu ile ilgili çalışmaların sayısı oldukça artmıştır. Çok değişik geometrilere Pb(II) koordinasyon polimerleri, Pb(II) MOFs yapıları ve bunların özelliklerine göre çeşitli uygulama alanları literatürde rapor edilmiştir. Bu Pb(II) bileşiklerinden bazıları: 1D [Pb(MPAcO)₂]_n (HMPAcO = monofenil asetik asit) [25], 2D polimerik birimlerden oluşan [Pb₂(2-*pyc*)₂(I)₂]_n ve [Pb₂(2-*pyc*)₂(Br)₂]_n (2-*Hpyc* = 2-piridinkar-boksilik asit) [26], 2D {[Pb(L)($\mu_{1,1}$ -NCS)(H₂O)]_n (L⁻ = 1H-1,2,4-triazol-3-karboksilat) [27] ve 1D {[Pb(Hbidc)(phen)]·H₂O]_n [28].

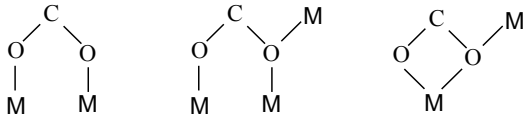
p blok ağır metal iyonu olan kurşun(II), büyük çapı ile yumuşak bir asittir ancak hem yumuşak hem de sert organik ligantlar ile kararlı bileşikler oluşturabilir. Bu özellik iyonun [Xe] 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² elektronik konfigürasyonu ile ilgilidir. 6s² orbitalindeki yalnız elektron çiftine atfedilen stereokimyasal aktive nedeniyle iyonun koordinasyon sayısı 2-10 arasında değişir. Yalnız elektron çifti stereokimyasal aktif ise ligand atomları ile oluşan bağlar Pb(II) koordinasyon küresinin bir tarafına doğru (hemidirected) yönelir. Stereokimyasal olarak aktif değil ise ligand atomları ile oluşan bağlar koordinasyon küresinin her tarafına (holodirected) yönelir (Şekil 1). Yalnız elektron çiftinin bu davranışı, Pb(II) iyonunun koordinasyon sayısı, ligantların sertliği, metal iyonu ile ligantların uzaklığı, yalnız çiftin *p* karaktere sahip olup olmadığı ve koordinasyon küresinde sterik etkilere bağlı olarak değişir [29].



Şekil 1. Hemidirected ve holodirected koordinasyon

Pb(II) metal iyonu, yukarıda bahsettiğimiz tüm bu özellikleri ile çeşitli geometrik yapıların ve özelliklerin ortaya çıkabileceği organik ligantlar içeren kurşun(II) koordinasyon polimerleri ve kurşun(II) MOFs yapıları tasarlamak ve sentezlemek için uygun bir iyonudur.

Bir koordinasyon polimeri tasarımında ligandın etkisi de metal iyonu kadar önemlidir. Karboksilatlar donör atomu oksijen olan organik ligantların en geniş grubudur ve çok farklı şekillerde metale koordine olabilmeye yeteneğine sahiptirler [30]. Şekil 2 de karboksilat grubunun metal iyonuna köprü bağlanma türleri şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2. Karboksilatların köprü bağlanma türleri

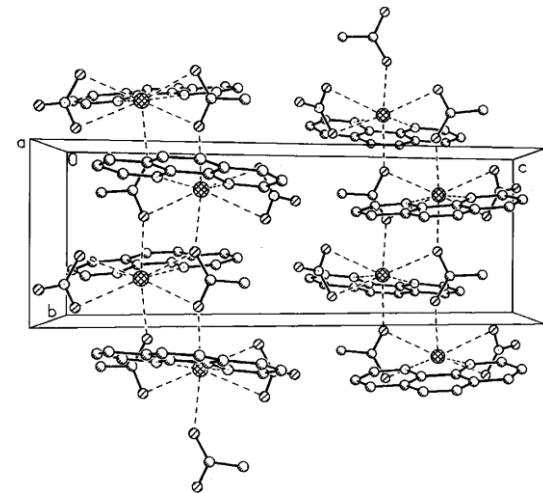
Bu yetenek, karboksilat gruplarına ve karboksilat ligandlarına MOFs yapıları ve çok boyutlu koordinasyon ağları kurmalarında önemli bir rol oynar. Karboksilat grupları oluşumunda rol oynadıkları bu tür yapılarda genellikle şelat ve köprü oluşturacak şekilde metal iyonlarına bağlanırlar. Organik ligandın donör atom sayısı ve şelat halkaların sayısı arttıkça bileşiklerin kararlılıkları da artmaktadır. 2011 yılında Hu ve arkadaşları tarafından pek çok Pb(II) karboksilat koordinasyon polimerleri, karboksilatın koordinasyon türü ve yapıların özellikleri açısından değerlendirilmiştir [31].

2. Pb(II) METAL İYONU İLE ASETAT VE N-VERİCİ ORGANİK LİGANLARDAN OLUŞAN KOORDİNASYON POLİMERLERİ

1,10-fenantrolin (phen) organik ligandı ile karışık anyonlu Pb(II) bileşikleri, $[Pb(phen)(O_2CCH_3)(O_2NO)]_n$ (1) [32] ve $[Pb(phen)(O_2CCH_3)(O_2ClO_2)]_n$ (2) [33], tek

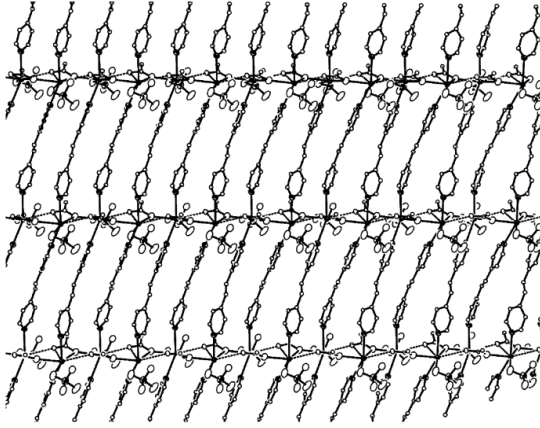
kristal x-ışını analizine göre 1D polimerik yapılar olarak rapor edilmiştir. Her iki bileşikte de asetate ligantları metal iyonlarına köprülü koordinasyon ile bağlıdır. Şekil 3 de (1) nolu bileşik için metal iyonun çevresi ve asetate ligandının şelat ve köprü oluşturma fonksiyonları görülmektedir. Her iki bileşikte de kurşun(II) üzerindeki yalın elektron çiftinin aktif olduğu ve Pb(II) atomları çevresindeki koordinasyonun hemidirected olduğu bildirilmiştir. $[Pb(phen)(O_2CCH_3)_2]_n$ (3) [34] bileşiğinin kristal yapısında asetate ligantlarının her ikisi de çift dişli bağlanırken her biri iki kurşun atomu arasında köprü olarak bağlıdır.

$[Pb(bpy)(NCS)(OAc)]_n$ (4) [35] bileşiği 1D koordinasyon polimeri olarak rapor edilmiştir. Asetate ligandı aynı Pb(II) merkez iyonuna şelat modunda bağlıdır. Polimerik yapıya neden olan bu bileşikte tiyosiyanat ligandıdır. Dimerik $[Pb(phen)(CH_3COO)(NCS)]_2$ kompleksinde asetate oksijen atomları köprü yaparken tiyosiyanat Pb(II) atomuna tek dişli bağlıdır. Bu fark, ilgili çalışmada, yapılardaki farklı ligandın etkisine atfedilmiştir. (4) bileşiğinde bpy, asetate ve tiyosiyanat ligandlarının yerleşimine göre Pb(II) çevresinde koordinasyon geometrisinde bir boşluk olduğu ve Pb(II) üzerindeki yalın elektron çiftinin aktif olduğu bildirilmiştir.



Şekil 3. (1) nolu bileşiğin polimerik yapısı

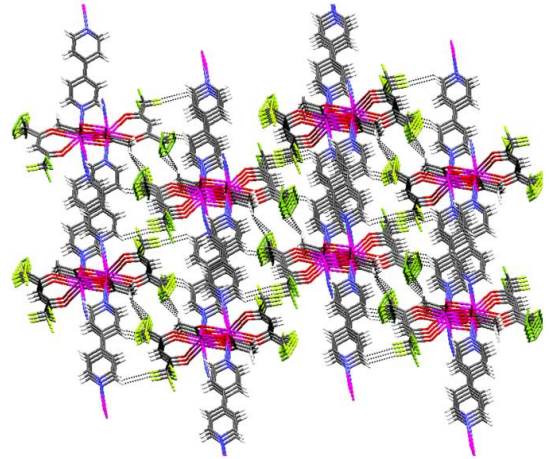
$\{[\text{Pb}(\mu\text{-OAc})(\mu\text{-ebp})](\text{ClO}_4)_n\}$ (5) [36] bileşiği 2D polimerik ağ olarak rapor edilmiştir (Şekil 4). Kristal yapısına göre asetat ve ebp ligantları metal iyonları arasında köprü oluşturmuşlardır. İki ebp ligandının iki N atomu ve asetatlardan üç O atomu olmak üzere Pb^{2+} iyonlarının koordinasyon sayısı beştir. Ligantların bu şekildeki düzeni molekülün hemidirected olduğunu göstermektedir. Klorat anyonları karşıt iyon olarak davranmalarına karşın $\text{Pb}(\text{II})$ ile ağda zayıf etkileşimleri olduğu saptanmıştır.



Şekil 4. Bileşik (5) için *b*-exseni boyunca iki-boyutlu tabakanın bölümleri. CH gruplarının H atomları gösterilmemiştir.

$\{[\text{Pb}(\text{bpy})(\mu\text{-OAc})_2(\mu\text{-O}_2\text{ClO}_2)(\mu\text{-ClO}_2\text{O})]_n\}$ (6) [37] bileşiğinin perklorat ligandının metal iyonuna sıradışı çift- ve tek-dişli köprülenmesi sonucu iki-boyutlu polimerik bir yapı olduğu rapor edilmiştir. Bu bileşikte asetat ligandı metal iyonuna hem çift dişli şelat oluşturan hem de köprü grup olarak bağlanmıştır. Pb atomu asimetrik 8-koordinasyonlu geometridedir. Literatürde, ligantların metal atomu çevresindeki pozisyonları ve koordinasyon sayısı dikkate alındığında hemidirected geometride olduğu savunulmuştur. $[\text{Pb}_2(\text{trz})_2(\text{CH}_3\text{COO})(\text{NO}_2)]_n$ (7) [38] bir üç-boyutlu koordinasyon polimeri olarak bildirilmiştir. trz ligandı üç-dişli, nitrit iki-dişli ve asetat hem iki-dişli şelat oluşturan

hem de her bir oksijen atomundan ayrı $\text{Pb}(\text{II})$ metal iyonuna köprü oluşturan modlarda bağlanmışlardır. trz ligandı, Pb atomlarına komşu azot atomları (N1 ve N2) ile köprü bağlanarak yapının polimerik olmasına önemli bir katkı sağlar, aynı asetat ligandları gibi. Nitrit ligandı sadece bir Pb atomuna bağlıdır. $[\text{Pb}(\text{bpe})(\text{OAc})(\text{O}_2\text{CCF}_3)]_n$ (8) [39] spiral 1D koordinasyon polimeridir. $\text{Pb}(\text{II})$ metal merkezi iki bpe ligandının N atomlarına, şelat bağlanma yapan asetat ligandının iki O atomuna ve trifloroasetat ligandının bir O atomuna koordine eder. $[\text{Pb}(\mu\text{-4,4'-bipy})(\mu\text{-OAc})(\text{hfacac})]_n$ (9) [40], üç farklı ligand içeren iki-boyutlu polimerik yapıda bir koordinasyon polimeri olarak karakterize edilmiştir (Şekil 5). Tek kristal x-ışını verilerine göre holodirected geometride olan Pb^{2+} iyonunun koordinasyon sayısı sekizdir. Bileşik köprülü 4,4'-bipy ligandları ve asetat köprülü $[\text{Pb}_2(\text{OAc})_2]^{2+}$ düğümlerinin bağlanmasıyla doğrusal çiftli zincirlerden oluşmuştur.



Şekil 5. (9) bileşiğinin 2D polimerik yapısını gösteren dizilim diyagramı

3. SONUÇ

Kurşun(II), büyük yarıçapı, $6s^2$ elektronik yapısı, yalın elektron çiftinin geometriye etkisi, 2-10 arası değişen farklı koordinasyon sayılarında yapılar oluşturabilmesi nedenleriyle koordinasyon polimerleri ve MOFs yapıları dizayn etmek için potansiyel

bir metal iyonudur. Genel anlamda koordinasyon polimerleri önemli kullanım alanlarına sahiptir. Bu tür bileşiklerde, yapısal çeşitlilik sonucu ortaya çıkan sıra dışı yapılar daha iyi malzemelerin üretilmesi ve daha farklı uygulamalar için umut vaat edicidir.

Divalent kurşun bileşiklerinde yalın elektron çiftinin stereokimyasal aktivitesi Shimon-Livny ve arkadaşları tarafından tartışılmıştır [29]. Yazarlar, koordinasyon sayısı 2-5 arasında değişen mevcut tüm Pb(II) bileşiklerinin ve koordinasyon sayısı 6-8 arası değişen pek çok Pb(II) bileşiğinin hemidirected, daha yüksek koordinasyon sayılarında ise holodirected olduğunu savunmuşlardır. Her ne kadar istisna durumlar olsa da kristal yapısı aydınlatılmış pek çok bileşiğin bu savı desteklediği anlaşılmaktadır.

Köprü olarak metale bağlanabilen organik ligandların koordinasyon polimerleri ve MOFs yapıları için son derece önemli olduğu görülmektedir. Bu tür ligantlar kararlı polimerik yapıları inşa etmeyi mümkün kılmaktadırlar. Karboksilatlar bu tür organik ligandlar içinde en önemli sınıfı oluşturmaktadır. Burada sadece asetat ligantları verilmiştir. Hacimli, türetilmiş karboksilat ligantlarına göre daha zayıf kalmaktadır. Bunu (4) bileşiğinde organik ligandın etkisi olarak örneklendirmiştik. Yapıda asetat ligandından daha kuvvetli köprü yapıcı organik ligant var ise sadece şelat modunda bağlanma yapmaktadır. Organik ligandların dişlilik kapasitesine göre yapıları çeşitlendirmek mümkün olmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Yaghi, O. M., Li, G. M. and Li, H. L., "Selective binding and removal of guests in a microporous metal-organic framework", *Nature*, 378: 703-706, (1995).
- [2] James, S. L., "Metal-organic frameworks", *Chemical Society Reviews*, 32: 276-288, (2003).

[3] Maspoeh, D., Ruiz-Molina, D., Veciana, J., "Old materials with new tricks: multifunctional open-framework materials", *Chemical Society Reviews*, 36: 770-818, (2007).

[4] Shi, Y.-J., Li, L.-H., Li, Y.-Z., Chen, X.-T., Xue, Z., You, X.-Z., "Syntheses and structures of two one-dimensional double-stranded lead polymers of dicyanamide with unusual coordination mode", *Polyhedron*, 22: 917-923, (2003).

[5] Xue, L., Luo, F., Che, Y.-X., Zheng, J.-M., "A noninterpenetrating 3D coordination network with rare (4,6)-connected $(4 \cdot 5^3 \cdot 6^2)_2(4^2 \cdot 5^6 \cdot 6^4 \cdot 8^3)$ topology", *Journal of Molecular Structure*, 832 (1-3): 132-137, (2007).

[6] Oh, M., Mirkin C. A., "Ion Exchange as a Way of Controlling the Chemical Compositions of Nano- and Microparticles Made from Infinite Coordination Polymers", *Angewandte Chemie*, 118 (33): 5618-5620, (2006).

[7] Xu, H., He, Y. B., Zhang, Z. J., Xiang, S. C., Cai, J. F., Cu, Y. J., Yang, Y., Qian, G. D., Chen, B. L., "A microporous metal-organic framework with both open metal and Lewis basic pyridyl sites for highly selective C_2H_2/CH_4 and C_2H_2/CO_2 gas separation at room temperature", *Journal of Material Chemistry*, 1: 77-81, (2013).

[8] Seayad A. M., Antonelli D. M., "Recent advances in hydrogen storage in metal-containing inorganic nanostructures and related materials", *Advanced Materials*, 16 (9-10): 765-777, (2004).

[9] Nguyen, L. T. L., Le, K. K. A., Truong, H. X., Phan, N. T. S., "Metal-organic frameworks for catalysis: the Knoevenagel reaction using zeolite imidazolate framework ZIF-9 as an efficient heterogeneous catalyst", *Catalysis Science and Technology*, 2: 521-528, (2012).

[10] Cui, Z., Qi, J., Xu, X., "PANI/CPs composite material, a new type of coordination polymer based composite material: Fabrication and photocatalytic property study", *Inorganic Chemistry Communications*, 35: 260-264, (2013).

[11] Chu, Q., Su, Z., Fan, J., Okamura, T. A., Lv, G. C., Liu, G. X., Sun, W. Y., Ueyama, N., "Novel cobalt(II) coordination polymers constructed from 3,3',4,4'-oxydiphthalic acid and N-donor ligands: syntheses, crystal structures, and magnetic properties", *Crystal Growth & Design*, 11: 3885-3894, (2011).

[12] Meng, X., Liu, Y., Song, Y., Hou, H., Fan, Y., Zhu, Y., "Novel Zn(II) and Pb(II) coordination networks with large circuits: Synthesis, crystal structures and self-focusing

- effects”, *Inorganica Chimica Acta*, 358: 3024-3032, (2005).
- [13] J.-H. Lee, J.-H., “Gas sensors using hierarchical and hollow oxide nanostructures: Overview”, *Sensors and Actuators B*, 140: 319-336, (2009).
- [14] Xu, Y., Yuan, D., Han, L., Ma E., Wu, M., Lin, Z., Hong, M., “Mono- and Bilayered Lead(II)-bpmo Polymers with Unusual Low Energy Emission Properties (bpmo = 4,4'-Bipyridine *N,N'*-Dioxide)”, *European Journal of Inorganic Chemistry*, 2054-2059, (2005).
- [15] Lei, Z. H., Li, X., Dong, L. N. , “Synthesis, structure, and luminescence of a novel lead(II) coordination polymer with 1,2-phenylenediacetic acid, *Inorganic Chemical Communication*, 13: 1383-1386, (2010).
- [16] Wang, L., Li, G. F., Liu, M., Deng, D., Pei, Y., Wang, X., “Lead(II) arenesulfonate coordination polymer: Synthesis, crystal structure and properties”, *Inorganic Chemistry Communications*, 35: 192-194, (2013).
- [17] Masoomi, M. Y. and Morsali, A., “Applications of metal-organic coordination polymers as precursors for preparation of nano-materials”, *Coordination Chemistry Reviews*, 256: 2921-2943, (2012).
- [18] Ma, Y., Cheng, A. L., Zhang, J. Y., Yue, Q., Gao, E. Q., “One-, two-, and three-dimensional coordination polymers of stilbenedicarboxylate with different metal ions”, *Crystal Growth & Design*, 9: 867-873, (2009).
- [19] Yang, J., Ma, J.-F., Liu, Y.-Y., Li, S.-Li, Zheng, G.-L., “Four Novel 3D Copper(II) Coordination Polymers with Different Topologies”, *European Journal of Inorganic Chemistry*, 2174-2180, (2005).
- [20] Siqueira, M. R., Tonetto, T. C., Rizzatti, M. R., Lang, E. S., Ellena, J., Burrow, R. A., “The role of solvent in coordination polymers: The structures of *catena*-[Hg(μ_2 -O₂PPh₂)₂] and *catena*-[Hg(μ_2 -O₂PPh₂)₂(NC₅H₅)₂]”, *Inorganic Chemistry Communications*, 9: 537-540, (2006).
- [21] Liu, J.-Q., Wang, Y.-Y., Zhang, Y.-N., Liu, P., Shi, Q.-Z., Batten, S. R., “Topological Diversification in Metal-Organic Frameworks: Secondary Ligand and Metal Effects”, *European Journal of Inorganic Chemistry*, 147-154, (2009).
- [22] Yang, J., Li, G.-D., Cao, J.-J., Yue, Q., Li, G.-H., Chen, J.-S., “Structural Variation from 1D to 3D: Effects of Ligands and Solvents on the Construction of Lead(II)-Organic Coordination Polymers”, *Chemistry-A European Journal*, 13: 3248-3261, (2007).
- [23] Yang, E. C., Li, J., Ding, B., Liang, Q. Q., Wang, X. G., Zhao, X. J., “An eight-connected 3D lead(II) metal-organic framework with octanuclear lead(II) as a secondary building unit: Synthesis, characterization and luminescent property”, *Crystal Engineering Communications*, 10: 158-161, (2008).
- [24] Zhao, Y. H., Xu, H. B., Fu, Y. M., Shao, K. Z., Yang, S. Y., Su, Z. M., Hao, X. R., Zhu, D. X., Wang, E. B., “A series of lead(II)-organic frameworks based on pyridyl carboxylate acid *N*-Oxide derivatives: Syntheses, structures, and luminescent properties”, *Crystal Growth & Design*, 8: 3566-3576, (2008).
- [25] Haddadian, H., Aslani, A., Morsali, A., “Syntheses of PbO nano-powders using new nano-structured lead(II) coordination polymers”, *Inorganica Chimica Acta*, 362: 1805-1809, (2009).
- [26] Sadeghzadeh, H., Morsali, A., Yilmaz, V. T., Büyükgüngör, O., “Sonochemical synthesis of nano-scale mixed-ligands lead(II) coordination polymers as precursors of PbO and PbBr(OH) nano-structures; thermal, structural and X-ray powder diffraction studies”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 17: 592-597, (2010).
- [27] Safarifard, V. and Morsali, A., “Sonochemical syntheses and characterization of nano-sized lead(II) coordination polymer with ligand 1-H-1,2,4-triazole-3-carboxylate”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 19: 300-306, (2012).
- [28] Liu, Y., Liu, P., Liu, Q., Pang, L.-Y., Ren, C.-Y., Wang, Y.-Y., “A new (3,3,6)-connected achiral 3D supramolecular network containing unique helical chains based on 1*H*-benzimidazole-5,6-dicarboxylate and Pb(II)”, *Inorganic Chemistry Communications*, 35: 321-325, (2013).
- [29] Shimon-Livny, L., Glusker, J. P., Bock, C. W., “Lone Pair Functionality in Divalent Lead Compounds”, *Inorganic Chemistry*, 37: 1853-1867, (1998).
- [30] Deacon, G. B. and Phillips, R. J., “Relationships between the carbon-oxygen stretching frequencies of carboxylate complexes and the type of carboxylate coordination”, *Coordination Chemistry Reviews*, 33: 227-250, (1980).
- [31] Hu, M.-L., Morsali, A., Aboutorabi, L., “Lead(II) carboxylate supramolecular compounds: Coordination modes, structures and nano-

structures aspects”, *Coordination Chemistry Reviews*, 255: 2821-2859, (2011).

[32] Morsali, A., Payheghader, M., Monfared, S. S., “A New Polymer of Mixed-Anions Complex $[Pb(phen)(O_2CCH_3)(O_2NO)]_n$ (phen = 1,10-phenanthroline)”, *Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie*, 628: 12-14, (2002).

[33] Hall, A. K., Harrowfield, J. M., Morsali, A., Soudi, A. A., Yanovsky, A., “Bonds and lone pairs in the flexible coordination sphere of lead(II)”, *Crystal Engineering Communications*, 2: 82-85, (2000).

[34] Cheng, M. Q., Ma, L. F., Wang L. Y., “Crystal structure of catena-[1,10-phenanthroline-N,N']bis(μ -acetato-O,O')lead(II) $Pb(C_{12}H_8N_2)(CH_3COO)_2$ ”, *Zeitschrift für Kristallographie-New Crystal Structures*, 221 (3): 299-300, (2006).

[35] Morsali, A. and Chen, X.-M., “A new lead(II) complex of 2,2'-bipyridine, acetate and thiocyanate ligands: Synthesis, characterization and crystal structure of $[Pb(bpy)(NCS)(OAc)]_n$ ”, *Journal of Coordination Chemistry*, 57 (14): 1233-1241, (2004).

[36] Morsali, A., Yilmaz, V. T., Kazak, C, Zhu, L.-G., “Two-Dimensional Holo- and Hemidirected Lead(II) Coordination Polymers: Synthesis, Spectroscopic, Thermal, and Structural Studies of $[Pb(\mu-SCN)_2(\mu-ebp)_{1.5}]_n$ and $\{[Pb(\mu-OAc)(\mu-ebp)](ClO_4)\}_n$ (ebp = 4,4'-[(1E)-Ethane-1,2-diyl]bis[pyridine]; OAc =Acetato)”, *Helvetica Chimica Acta*, 88: 2513-2522, (2005).

[37] Taheri, S. and Morsali, A., “Unusual bridging modes for perchlorate in a 2D polymeric lead(II) complex $\{[Pb(bpy)(\mu-OAc)]_2(\mu-O_2ClO_2)(\mu-OCIO_2O)\}_n$ ”, *Journal of Coordination Chemistry*, 59 (4): 363-369, (2006).

[38] Soudi, A. A., Morsali, A., Moazzenhi, S., “A first 1,2,4-triazole Pb(II) Complex: Thermal, spectroscopic and structural studies, $[Pb_2(trz)_2(CH_3COO)(NO_2)]_n$ ”, *Inorganic Chemistry Communications*, 9: 1259-1262, (2006).

[39] Peedikakkal, A. M. P., Vittal, J. J., “Molecular fabric structure formed by the 1D coordination polymer, $[Pb(bpe)(O_2CCH_3)(O_2C-CF_3)]_n$ ”, *Crystal Growth & Design*, 8: 375-377, (2008).

[40] Ramazani, A., Hamidi, S., Morsali, A., “A novel mixed-ligands holodirected two-dimensional lead(II) coordination polymer as precursor for preparation lead(II) oxide nanoparticles”, *Journal of Molecular Liquids*, 157: 73-77, (2010).

Geliş Tarihi:27.08.2013

Kabul Tarihi:02.09.2013

