

# مقایسه سیستم‌های اسید و باز مزدوج با سیستم‌های اکسید و کاهش مزدوج

نوشته

دکتر جمشید مفیدی

دانشیار دانشکده علوم

چکیده :

« در این مقاله، مقایسه‌ای بین سیستم‌های اسید و باز و اکسید و کاهش، از نقطه نظر کاربرد کلمه « مزدوج » بعمل می‌آید و سپس تشابهات و همچنین موارد اختلاف بین سیستم‌های اسید و باز مزدوج و سیستم‌های اکسید و کاهش مزدوج، خاطر نشان میگردد. »

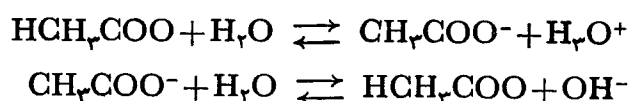
کاربرد کلمه مزدوج برای سیستم‌های اسید و باز، تازگی ندارد و مفهوم تئوری پروتوژن - لاوری آنست که هراسید و باز مزدوج، در یک پروتون اختلاف داشته و بسته بآنکه کدامیک، آسانتر پروتون دریافت کند ( منظور باز میباشد ) و یا آنکه، آسانتر پروتون از دست دهد ( منظور اسید میباشد ) یکی را قوی‌تر و دیگری را ضعیف‌تر تلقی میکنند. اما کاربرد کلمه مزدوج در مورد اکسید کننده‌ها و کاهشنده‌ها بتازگی پیشنهاد شده است و با توجه بمفهومی که این کلمه در مورد اسیدها و بازها دارد، میتواند درباره سیستم‌های اکسید و کاهش نیز، در قدم اول، مفهوم روشن و قابل درکی داشته باشد مثلاً بایستی نتیجه گرفت که هراسید کننده و کاهشنده مزدوج در تعداد الکترون مبادله، اختلاف داشته و یا آنکه، اگر اکسید کننده قوی است، کاهشنده مزدوج ضعیف است.

برای مقایسه بین سیستم‌های اسید و باز مزدوج و اکسید و کاهش مزدوج، بحث را ابتدا از اسیدها و بازهای مزدوج شروع مینمائیم :

باید توجه داشت که منظور از دادن پروتون، انتقال پروتون در اسید مورد نظر بر روی یک باز، و مراد از نصب پروتون بر روی یک باز، انتقال پروتون از یک اسید بر روی باز مورد نظر است. بنابراین، قدرت یک اسید در رها کردن پروتون، اولاً به نوع خود اسید، و ثانیاً به نوع بازی که در دسترس اسید قرار داشته، و نقش گیرنده پروتون را دارد بستگی خواهد داشت و همچنین قدرت یک باز در جذب پروتون،

اولاً به نوع خود باز، و ثانیاً به نوع اسیدی که در دسترس باز قرار داشته، و نقش دهنده پروتون را دارد، بستگی خواهد داشت. در نتیجه، مقایسه قدرت اسیدهای مختلف نسبت بیکدیگر، در صورتی مفهوم صحیح پیدا میکند، که بازگیرنده پروتون، در مورد همه آنها یکسان باشد، و همچنین، مقایسه قدرت بازهای مختلف نسبت بیکدیگر، بشرط آنکه اسید دهنده پروتون، در مورد همه آنها یکسان باشد، مفهوم صحیح خواهد داشت.

ترکیبی که بعنوان مبنا، خواه در نقش بازگیرنده پروتون، بمنظور مقایسه قدرت اسیدهای مختلف نسبت بیکدیگر، و خواه در نقش اسید دهنده پروتون، بمنظور مقایسه قدرت بازهای مختلف نسبت بیکدیگر، انتخاب شده است، آب میباشد. ملکول آب میتواند از یکطرف نقش گیرنده پروتون را، در مقابل یک اسید، و از طرف دیگر نقش دهنده پروتون را، در مقابل یک باز، ایفا نماید. مثلاً:



با نوشتن قانون اثر غلظت در مورد این دو رابطه تعادلی، خواهیم داشت:

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCH}_3\text{COO}][\text{H}_2\text{O}]} = K_e$$

$$\frac{[\text{HCH}_3\text{COO}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_2\text{O}]} = K'_e$$

با توجه باینکه در محلولهای رقیق، و در محلولهایی با غلظت های معمولی،  $[\text{H}_2\text{O}]$  مقدار یست ثابت، میتوان نوشت:

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCH}_3\text{COO}]} = K_e \times [\text{H}_2\text{O}] = K_a$$

$$\frac{[\text{HCH}_3\text{COO}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = K'_e \times [\text{H}_2\text{O}] = K_b$$

$K_a$ ، ثابت تعادل دستگاه اسید و باز مزدوج ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$  و  $\text{HCH}_3\text{COO}$ ) را در حال تعادل با دستگاه اسید و باز مزدوج ( $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{H}_3\text{O}^+$ )، و  $K_b$ ، ثابت تعادل دستگاه اسید و باز مزدوج ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$  و  $\text{HCH}_3\text{COO}$ ) را در حال تعادل با دستگاه اسید و باز مزدوج ( $\text{OH}^-$  و  $\text{H}_2\text{O}$ ) نشان میدهد، که از ضرب کردن آن دو در یکدیگر، خواهیم داشت:

$$[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = K_a \cdot K_b = K_w$$

یعنی، حاصلضرب  $K_b$  در  $K_a$ ، برابر حاصلضرب مولاریته اسید و بازی است که بعنوان مبنا انتخاب شده است.

حال اگر  $K_a$  و  $K_b$  ی مربوط بهر دستگاه اسید و باز مزدوج را ، بهمان ترتیب که در مورد دستگاه اسید و باز مزدوج اسید استیک و استات اشاره شد ، تعیین نمائیم ، مقایسه  $K_a$  ی اسیدهای مختلف نسبت یکدیگر ، گویای مقایسه‌ی قدرت اسیدهای مربوط نسبت یکدیگر و مقایسه  $K_b$  ی بازهای مختلف نسبت یکدیگر ، گویای مقایسه‌ی قدرت بازهای مربوط نسبت یکدیگر میباشد . واضح است که در یک دستگاه اسید و باز مزدوج - هر قدر ، قدرت اسید بیشتر باشد ، بدلیل اینکه مفهوم قدرت بیشتر یک اسید ، تمایل زیادتر آن بهرها کردن پروتون است ، بهمان نسبت قدرت باز مربوط ، که مفهوم آن تدایل بدریافت پروتون است ، کمتر خواهد بود .

در جدول زیر ، چند دستگاه اسید و باز مزدوج در حال تعادل ، بمنظور مقایسه‌ی قدرت اسیدها نسبت یکدیگر ، و نیز ، مقایسه‌ی قدرت بازها نسبت یکدیگر ، ارائه شده است . درین جدول ، از بالا به پائین ، قدرت اسیدها روبه کاهش ، و قدرت بازهای مزدوج مربوط ، روبه افزایش است .

جدول ۱ - اسیدها و بازها

اسید مزدوج	باز مزدوج
$\text{HClO}_4$	$\text{H}^+ + \text{ClO}_4^-$
$\text{HCl}$	$\text{H}^+ + \text{Cl}^-$
$\text{H}_3\text{O}^+$	$\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$
$\text{H}_3\text{PO}_4$	$\text{H}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$
$\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}^+ + \text{OH}^-$
$\text{NH}_4^+$	$\text{H}^+ + \text{NH}_3$

↑ قدرت اسید مزدوج ترقی میکند (مقدار  $K_a$  زیاد میشود)
↓ قدرت باز مزدوج ترقی میکند (مقدار  $K_b$  زیاد میشود)

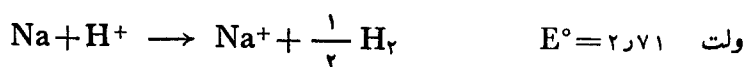
اکنون با توجه به آنچه که در تعریف برونشترد - لاوری ، در خصوص مفهوم کلمه « مزدوج » دستگیرمان شده است ، و با در نظر گرفتن اینکه ، فرم اکسید شده یک جسم در اثر از دست دادن الکترون از فرم کاهش یافته‌ی آن ، و فرم کاهش یافته جسم ، در اثر نصب الکترون بر روی فرم اکسید شده آن حاصل میشود ، میتوان مجموعه فرم اکسید شده و فرم کاهش یافته یک جسم را ، که تبدیلهای یکدیگر در اثر دفع و یا جذب الکترون صورت میگیرد ، و یا به بیان دیگر ، اختلافشان فقط در تعداد الکترونهای مبادله شده است ، دستگاه اکسید و کاهش مزدوج نامید .

در اینجا نیز باید توجه داشت که منظور از رها کردن الکترون از فرم کاهش یافته یک جسم ، انتقال الکترون از فرم کاهش یافته جسم مورد نظر بر روی فرم اکسید شده جسم دیگر ، و مراد از نصب الکترون بر روی فرم اکسید شده یک جسم ، انتقال الکترون از فرم کاهش یافته جسم دیگر بر روی فرم اکسید شدهی جسم مورد نظر است . بنابراین قدرت کاهندگی فرم کاهش یافتهی یک جسم ، اولاً به قدرت الکترون دهندگی خود آن ، و ثانیاً به قدرت الکترون گیرندگی فرم اکسید شده جسمی که نقش گیرنده الکترون را ایفا مینماید ، بستگی خواهد داشت و همچنین ، قدرت اکسید کنندگی فرم اکسید شده یک جسم ، اولاً به قدرت الکترون گیرندگی خود آن ، و ثانیاً به قدرت الکترون دهندگی فرم کاهش یافته جسمی که نقش دهنده الکترون را دارد ، بستگی خواهد داشت . در نتیجه ، مقایسه قدرت کاهنده های مختلف نسبت بیکدیگر ، در صورتی مفهوم صحیح پیدا میکند که فرم اکسید شده جسمی که نقش گیرندهی الکترون را ایفا مینماید ، در مورد همه آنها یکسان باشد ، و همچنین ، مقایسه قدرت اکسید کننده های مختلف نسبت بیکدیگر ، بشرط آنکه فرم کاهش یافته جسمی که نقش دهنده الکترون را بازی میکند ، در مورد همه آنها یکسان باشد ، مفهوم صحیح خواهد داشت . سیستمی که در این مورد ، بعنوان مبنا انتخاب شده است  $H^+ / \frac{1}{2} H_2$  میباشد :

فرم اکسید شدهی  $H^+$  که با جذب یک الکترون به فرم کاهش یافته  $\frac{1}{2} H_2$  تبدیل میشود ، در مقایسهی قدرت کاهنده های مختلف نسبت بیکدیگر ، و فرم کاهش یافته  $\frac{1}{2} H_2$  که با از دست دادن یک الکترون به فرم اکسید شدهی  $H^+$  تبدیل میشود ، در مقایسهی قدرت اکسید کننده های مختلف نسبت بیکدیگر ، بمنزله مبنا در نظر گرفته شده است . باین ترتیب ، واکنش تبدیل دو فرم اکسید شده و کاهش یافتهی دستگاه اکسید و کاهش مزدوج مبنا ، بصورت تعادل زیر معرفی میشود :



و اگر چه پتانسیل اکسید و کاهش آن ، خود ، دارای مقداری است ، ولی این پتانسیل که بعنوان مبنا پتانسیل اکسید و کاهش انتخاب شده است ، بنا بر قرارداد ، برابر صفر ولت فرض میشود . حال اگر فرم کاهش یافته یک جسم ، مثلاً  $Na$  ، که قدرت آن در نگهداری الکترون کمتر است تا هیدروژن ، در تماس با فرم اکسید شدهی هیدروژن ، یعنی  $H^+$  ، قرار گیرد تبادل الکترون بین این دو فرم ، بروقی واکنش :

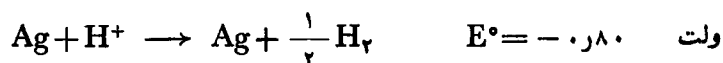


صورت گرفته ، و باین ترتیب ، فرم اکسید شدهی سدیم و فرم کاهش یافته هیدروژن پدید میآید . پتانسیل

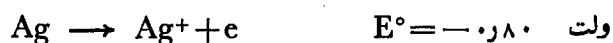
مربوط به انجام واکنش فوق ، یعنی ۲۷۱ ولت ، که محصول اکسیداسیون Na همراه با کاهش  $H^+$  میباشد، اولاً بدلیل اینکه پتانسیل اکسید و کاهش هیدرژن برابر صفر است ، پتانسیل اکسیداسیون Na را میرساند :



و ثانیاً چون این مقدار پتانسیل ، محصول انجام واکنش است ، با علامت مثبت ارائه میشود .  
چنانچه فرم کاهش یافته یک جسم ، مثلاً Ag ، که قدرت آن در نگهداری الکترون بیشتر است تا هیدرژن ، در تماس با فرم اکسید شدهی هیدرژن ، یعنی  $H^+$  ، قرار گیرد ، واضح است که بین این دو فرم ، تبادل الکترون بطور خودبخود ، صورت نخواهد گرفت ، یعنی برای انجام واکنش ریز ، لازم است مقداری انرژی بدستگاه تحمیل شود :



پتانسیل مربوط به انجام این واکنش ، یعنی ۰.۸۰ ولت ، که لازم برای اکسیداسیون Ag همراه با کاهش  $H^+$  میباشد ، اولاً بدلیل اینکه پتانسیل اکسید و کاهش هیدرژن برابر صفر است پتانسیل اکسیداسیون Ag را میرساند :



و ثانیاً چون این مقدار پتانسیل ، لازم برای انجام واکنش است ، با علامت منفی ارائه میشود .  
لازم بیادآوری است که برخی اجسام ، بدلیل دارا بودن بیش از دو درجه اکسیداسیون ، تشکیل بیش از یک دستگاه اکسید و کاهش مزدوج را میدهند ، مانند آهن که دارای سه درجه اکسیداسیون  $Fe$  ،  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$  بوده ، و تشکیل دو دستگاه اکسید و کاهش مزدوج میدهد :



اکنون با توجه بآنچه که از مطالب بالا ، در خصوص پتانسیل اکسیداسیون دستگیرمان شد ، معلوم میشود که :

الف - هر قدر پتانسیل اکسیداسیون فرم کاهش یافته جسمی ، از لحاظ جبری بیشتر باشد ، نشانه قدرت کمتر آن فرم در نگهداری الکترون ، و در نتیجه نشانه قدرت کاهش دهندهی فرم کاهش یافته مزدوج آن فرم است .

ب - هر قدر پتانسیل اکسیداسیون فرم کاهش یافتهی جسمی ، از لحاظ جبری کمتر باشد ، نشانه

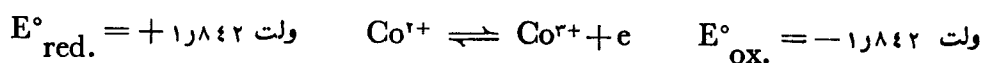
قدرت بیشتر آن فرم در نگهداری الکترون ، و در نتیجه ، نشانه قدرت اکسید کننده‌ی شهودیتر فرم اکسید شده‌ی مزدوج آن فرم است .

بنابراین در مورد هردستگاه اکسید و کاهش مزدوج ، شدت کاهشندگی فرم کاهش یافته ، نشانه‌ی ضعف قدرت اکسید کننده‌ی فرم اکسید شده است .

یادآور میشود که در باره هردستگاه اکسید و کاهش مزدوج ، بهمان ترتیب که پتانسیل مربوط به تبدیل فرم کاهش یافته به فرم اکسید شده را ، پتانسیل اکسیداسیون مینامیم ، میتوان پتانسیل مربوط به تبدیل فرم اکسید شده به فرم کاهش یافته را ، پتانسیل کاهش نامید .

واضح است که این دو پتانسیل ، از لحاظ قدرمطلق بایکدیگر برابر ، ولی یکی مثبت و دیگری منفی است .

مثلاً در خصوص یکی از دستگاه‌های اکسید و کاهش مزدوج ، مانند کبالت ، خواهیم داشت :



$$E^{\circ}_{\text{ox.}} + E^{\circ}_{\text{red.}} = (-1.842 \text{ ولت}) + (1.842 \text{ ولت}) = 0$$

یعنی مجموع پتانسیل‌های اکسیداسیون و کاهش ، در یک دستگاه اکسید و کاهش مزدوج ، برابر صفر میباشد .

از نظر مقایسه ، یادآوری میشود که در مورد دستگاه‌های اسید و باز مزدوج نیز به نتیجه‌ای مشابه رسیدیم . که مجدداً بیان میشود :

حاصلضرب ثابت‌های اسیدی و بازی هردستگاه اسید و باز مزدوج ، برابر حاصلضرب مولاریته اسید و بازی است که بعنوان مبنا انتخاب میشود .

در جدول زیر ، چند دستگاه اکسید و کاهش مزدوج در حال تعادل ، بمنظور مقایسه قدرت کاهشندگی فرم‌های کاهش یافته اجسام مختلف نسبت بیکدیگر ، و نیز مقایسه قدرت اکسید کننده‌ی فرم‌های اکسید شده‌ی اجسام مختلف نسبت بیکدیگر ، ارائه میشود . درین جدول ، از بالا به پایین ، قدرت کاهشندگی فرم‌های کاهش یافته ، روبه کاهش ، و قدرت اکسید کننده‌ی فرم‌های اکسید شده ، روبه افزایش است .

واضح است که در یک دستگاه اکسید و کاهش مزدوج ، هر قدر قدرت کاهشندگی فرم کاهش یافته بیشتر باشد ، بدلیل اینکه مفهوم قدرت بیشتر یک کاهشنده ، تمایل زیادتر آن به ردن الکترون است ، بهمان نسبت قدرت اکسید کننده‌ی فرم اکسید شده‌ی مربوط ، که مفهوم آن تمایل به جذب الکترون است ، کمتر خواهد بود .

جدول ۲ - اکسید کننده‌ها و کاهشنده‌ها

$E^{\circ}_{red.}$ (ولت)	کاهنده مزدوج	اکسید کننده مزدوج	$E^{\circ}_{ox.}$ (ولت)
-۳.۰۴۵	$Li \rightleftharpoons e^{-} + Li^{+}$		+۳.۰۴۵
-۰.۳۷	$Ti^{2+} \rightleftharpoons e^{-} + Ti^{3+}$		+۰.۳۷
-۰.۱۳۶	$Sn \rightleftharpoons 2e^{-} + Sn^{2+}$		+۰.۱۳۶
۰.۰۰۰	$H_2 \rightleftharpoons 2e^{-} + 2H^{+}$		+۰.۰۰۰
+۰.۳۶۱	$V^{2+} + H_2O \rightleftharpoons e^{-} + VO^{2+} + 2H^{+}$		-۰.۳۶۱
+۰.۵۳۵۵	$I^{-} \rightleftharpoons e^{-} + I_2$ (جامد)		-۰.۵۳۵۵
+۰.۹۸۷	$Pd \rightleftharpoons 2e^{-} + Pd^{2+}$		-۰.۹۸۷
+۱.۸۴۲	$Co^{2+} \rightleftharpoons e^{-} + CO^{3+}$		-۱.۸۴۲

قدرت کاهندگی فرم کاهش یافته، تنزل میکند

قدرت اکسید کننده فرم اکسید شده ترقی میکند

از نقطه نظر مقایسه، خاطر نشان میشود که در مورد دستگاه‌های اسید و باز مزدوج، نیز به نتیجه‌ای مشابه رسیدیم، که مجدداً یادآور میشود:

در یک دستگاه اسید و باز مزدوج، هر قدر قدرت اسید بیشتر باشد، بدلیل اینکه مفهوم قدرت بیشتر یک اسید، تمایل زیادتر آن به رها کردن پروتون است، بهمان نسبت قدرت باز مربوط، که مفهوم آن تمایل به جذب پروتون است، کمتر خواهد بود.

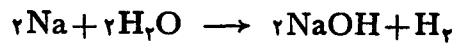
بنابراین خواه در یک دستگاه اسید و باز مزدوج و خواه در یک دستگاه اکسید و کاهش مزدوج، هر قدر یکی از دو فرم از یک لحاظ قوی‌تر باشد، فرم دیگر از لحاظ مقابل، ضعیف‌تر است.

بین دو نوع دستگاه مزدوج مورد مقایسه، علاوه بر تشابه یاد شده، تشابه دیگری نیز وجود دارد و آن یکسان بودن نقش مولکولهای حلال در هر دو است:

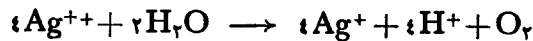
نقش مولکولهای حلال در مورد دستگاه‌های اسید و باز، دریافت و یا دادن پروتون، و در مورد دستگاه‌های اکسید و کاهش، گرفتن و یا دادن الکترون است. مثلاً در محلولهای آبی:

هنگامیکه بحث در خصوص محلول اسید و باز است، چنانکه دیدیم مولکول  $H_2O$  با جذب پروتون از اسید، به یون  $H_3O^{+}$ ، و یا تسلیم پروتون به باز، به یون  $OH^{-}$  تبدیل میگردد، و هنگامیکه صحبت از محلول اکسید و کاهش است، مولکول  $H_2O$  با جذب الکترون از کاهنده و یا تسلیم الکترون به اکسید کننده، به ترتیب گاز  $H_2$  و یا گاز  $O_2$  تولید میکند که بعنوان نمونه بدکتر دو مثال زیر میپردازیم:

فلز سدیم که یک کاهنده قوی است ، در اثر تماس با ملکول آب ، موجب آزاد شدن هیدروژن بصورت گاز میگردد :



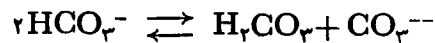
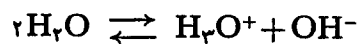
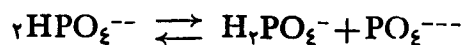
یون  $\text{Ag}^{++}$  که یک اکسیدکننده قوی است ، وناپایداری آن در محلول آبی نیز بهمین علت میباشد ، در اثر تماس با ملکول آب ، موجب آزاد شدن اکسیژن ، بصورت گاز میشود :



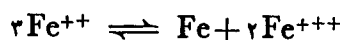
با وجود تشابهات اساسی که دونوع دستگانه مزدوج مورد مقایسه را ، بیکدیگر نزدیک میسازد ، و در بالا بآنها اشاره شد ، دو اختلاف عمده نیز بین آن دو وجود دارد ، که نباید از نظر دور داشت :

الف - واکنش های مربوط به مبادله پروتون ، کاملاً سریع ، و حال آنکه واکنش هائی که انجام آنها موکول به انتقال الکترون میباشد ، غالباً به کندی صورت میگیرند و در نتیجه ، ممکن است که یک اکسیدکننده قوی ویا کاهنده قوی ، در محلول آبی پایدار مانده ، و موجب ایجاد اکسیژن ویا هیدروژن نگردد. از جمله اکسیدکننده های پایدار در محلول آبی ، میتوان یون  $\text{MnO}_4^-$  را نام برد.

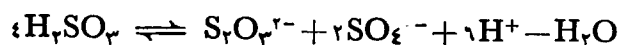
ب - در واکنش های اتوپرولیز ، مثلاً :



معمولاً ثابت تعادل کوچک بوده ، و تعادل به سمت چپ جابجا میشود. ولی در واکنش های اتواکسید و کاهش ، ثابت تعادل ممکنست کوچک ویا بزرگ باشد ، یعنی تعادل ، ممکن است به سمت چپ ویا به سمت راست جابجا شود. مثلاً تعادل :



به سمت چپ ، و حال آنکه تعادل :



به سمت راست جابجا میشود.

بطور خلاصه میتوان نتیجه گرفت که اطلاق کلمه مزدوج به سیستم های اکسید و کاهش ، بدوآ میتواند مفهوم روشن و سریعی داشته باشد ، خصوصاً که تشابهاتی هم بین سیستم های اسید و باز و سیستم های اکسید و کاهش ، از نقطه نظر کاربرد کلمه « مزدوج » وجود دارد. معهذاً نباید فراموش کرد که در مقایسه واکنش های مبادله پروتون و الکترون ، اختلافاتی هم بچشم میخورد.



یادآوری‌ها: ۱ - بعضی از مولفین ، سیستم‌های اکسید و کاهش مزدوج را که در بالا مورد بحث بود ، تحت عنوان سیستم‌های کاهش و یا سیستم‌های اکسید و کاهش مطالعه میکنند و همچنین پتانسیل مربوط را ، پتانسیل کاهش و یا پتانسیل اکسید و کاهش میخوانند و حال آنکه درین مقاله ، دونوع پتانسیل: پتانسیل اکسیداسیون و پتانسیل کاهش ، برای اجزاء یک سیستم اکسید و کاهش در نظر گرفته شده است .  
۲ - اخیراً بمنظور بیان قدرت اسیدها و بازها ، مفهوم دیگری توسط Pearson ارائه شده است و آن ، کاربرد کلمات سخت ( dur یا hard ) و نرم ( Mou یا Soft ) میباشد که جا دارد مقایسه آن با مفاهیم قبلی (تئوری برونشتمد - لاوری ) ، در مقاله دیگری صورت گیرد ، چون خارج از موضوع این مقاله میباشد .

### منابع و مآخذ

#### References :

- 1 - M. Suard . B. Praud et L. Praud, *Eléments de Chimie Générale*, Flammarion Médecine - Sciences , Paris 1971.
- 2 - A. R. Denaro , *Elementary Electrochemistry* , Buttworths , Washington , 1971.
- 3 - S. Glasstone , *Introduction to Electrochemistry* , D. Van Nostrand Company , In C. New Yrk , 1944.
- 4 - Hazlehurst , J. *CHEM. ECUC.* 17 , 466 (1940)
- 5 - Sisler , Vanderwerf and Davidson , *College Chemistry* ( 3<sup>rd</sup> Ed. ) Mac Millan , 1967, pp. 447 - 8.
- 6 - R.A. Pacer , *J. Chem. Educ.* 50 , 178 (1973).
- 7 - Linus Pauling , *Chimie Générale* , Traclint par R. Paris , Dunod Paris . 1958.