

# راهنمای تخصصی CIP

طراحی، اعتبارسنجی، عیب‌یابی و آینده دیجیتال

## Cleaning-In-Place Systems

Design • Validation • Troubleshooting • Industry 4.0



98.7%  
EFFICIENCY

نویسنده: سعید کارگر  
این اثر بدون اجازه کتبی از صاحب اثر ممنوع است.  
Saeid Kargar

## Table of Contents

فصل 1: اصول پایه‌ای شستشو و بهداشت صنعتی.....	9
1-1- مبانی تئوری تمیز کردن (Cleaning Theory).....	9
1-1-1- Sinner's Circle و چهار پارامتر اصلی تمیز کردن.....	9
2-1-1- انواع آلودگی‌ها در صنعت (Organic, Inorganic, Biological).....	14
5-1-1- ویژگی‌های آلودگی در فرایندهای بیوتکنولوژی.....	15
8-1-1- ترمودینامیک و سینتیک تمیز شدن سطوح.....	18
1-2- تعاریف و واژگان کلیدی در CIP.....	20
8-2-1- Clean, Rinse, Sanitize, Disinfect, Sterilize.....	20
1-1- مواد و سطوح در تماس با محصول.....	29
34-1-1- Roughness سطح (Ra) و تأثیر آن بر Cleanability.....	34
38-1-1- خوردگی، پیتینگ و پاسیو کردن (Passivation) در سیستم‌های CIP.....	37
فصل 3: طراحی مفهومی سیستم‌های CIP.....	40
1-1- انواع معماری سیستم‌های CIP.....	40
43-1-1- Centralized CIP Systems (سیستم‌های مرکزی CIP).....	40
• Centralized CIP Systems (سیستم‌های مرکزی).....	44
52-1-1- Multi-use CIP (استفاده مجدد از محلول‌ها).....	44
54-1-1- Clean-in-place در مقابل Clean-out-of-place در طراحی کارخانه.....	46
1-1- اجزای اصلی سیستم CIP.....	49
58-1-1- مخازن (Detergent, Caustic, Acid, Rinse, Recovery).....	49
63-1-1- پمپ‌ها (Rotary Lobe, Centrifugal و ...).....	50
63-1-2- مبدل‌های حرارتی، هیترها و سیستم‌های کنترل دما.....	51
67-1-1- ولوها (Mix-Proof, Single Seat, Diaphragm, BPE Valves).....	53
67-1-2- فیلترها، air break و strainers ها.....	55
71-1-1- تجهیزات اندازه‌گیری (دما، فشار، فلو، هدایت الکتریکی، pH، TOC).....	56
1-1- طراحی فرآیندی (Process Design) برای CIP.....	59

- 59.....82-1-1- تعیین URS برای سیستم CIP
- 61.....82-1-2- توسعه PFD و P&ID های مربوط به CIP
- 64.....82-1-3- دسته‌بندی کاربران/مدارات CIP (Circuits)
- 65.....82-1-4- ظرفیت‌سنجی سیستم CIP؛ حجم مخازن، دبی پمپ‌ها و تعداد همزمان
- 68.....82-1-5- مفاهیم Dead Leg, Slope, Drainability و طراحی لوله‌کشی بهینه
- 72.....CIP 1-2- در سیستم‌های بیوتکنولوژی
- 73.....CIP 82-2-1- بیوراکتور (Bioreactor, Fermenter)
- 76.....CIP 82-2-2- تانک‌های بافری، harvest media preparation
- 77.....CIP 82-2-3- در سیستم‌های کروماتوگرافی، UF/DF, TFF
- 79.....82-2-4- ارتباط CIP با SIP در سیستم‌های استریل
- 81.....فصل 4: شیمی مواد شوینده و انتخاب آن‌ها
- 83.....1-3- انواع مواد شوینده در CIP
- 84.....82-3-1- شوینده‌های قلیایی (Caustic Soda, Potassium Hydroxide)
- 85.....82-3-2- شوینده‌های اسیدی (Nitric, Phosphoric, Citric و...)
- 86.....82-3-3- Surfactants, Chelating agents (EDTA, NTA) و...)
- 88.....82-3-4- اکسیدانزرها (Peracetic acid, Hydrogen peroxide)
- 90.....82-3-5- آنزیم‌ها در CIP (Enzymatic cleaners برای پروتئین و بیوفیلم)
- 91.....82-3-6- Disinfectants و Sanitizers (Quats, Alcohol, Halogens)
- 92.....1-4- معیارهای انتخاب مواد شوینده
- 93.....82-4-1- نوع آلودگی و خصوصیات آن
- 94.....82-4-2- سازگاری با متریال تجهیزات (Corrosion, Stress Cracking)
- 96.....82-4-3- تأثیر بر محیط‌زیست، ایمنی و دفع پساب
- 97.....82-4-4- افزودنی‌ها (Inhibitors, Anti-foam agents)
- 99.....1-5- خطرات ایمنی و HSE در کار با مواد CIP
- 99.....82-5-1- الزامات PPE
- 101.....82-5-2- کار با اسیدها و بازهای قوی

- 103 ..... ارزیابی ریسک مواد شیمیایی 82-5-3
- 104 ..... مدیریت نشت و حوادث (Spill Management) 82-5-4
- 106 ..... فصل 5: طراحی سیکل‌های CIP (CIP Cycles) 82-5-5
- 106 ..... 1-6- ساختار عمومی یک سیکل CIP 82-5-6
- 107 ..... Pre-rinse-1-6-82 82-5-7
- 108 ..... Alkaline wash-2-6-82 82-5-8
- 109 ..... Intermediate rinse-3-6-82 82-5-9
- 110 ..... Acid wash-82-6-4 (در صورت نیاز) 82-6-10
- 111 ..... Final rinse (WFI / Purified Water)-5-6-82 82-6-11
- 111 ..... Sanitization / Disinfection / Sterilization (در صورت نیاز) 82-6-11
- 112 ..... خشک کردن (Air Blow, Nitrogen Blow) 82-6-7 82-6-12
- 113 ..... 1-7- طراحی پارامترهای کلیدی هر مرحله 82-6-13
- 119 ..... 1-1- طراحی سیکل برای تجهیزات مختلف 82-6-19
- 119 ..... 87-1-1- تانک‌ها (Holding Tanks, Mixing Tanks) 82-6-19
- 121 ..... 87-1-2- خطوط لوله، مبدل‌ها، فیلترها 82-6-21
- 123 ..... Fermenters و Bioreactors -3-1-87 82-6-23
- 123 ..... Filling Machines & Packaging Lines-4-1-87 82-6-23
- 125 ..... 87-1-5- سیستم‌های Single-use و Hybrid 82-6-25
- 126 ..... فصل 6: طراحی مکانیکی و لوله‌کشی CIP 82-6-26
- 126 ..... 1-2- اصول طراحی لوله‌کشی بهداشتی برای CIP 82-6-26
- 127 ..... 87-2-1- شیب‌بندی (Slope) و Drainability 82-6-27
- 128 ..... 87-2-2- معیارهای Dead Leg و حل آن‌ها 82-6-28
- 130 ..... 87-2-3- اتصالات بهداشتی (Orbital welding, Tri-clamp) 82-6-30
- 133 ..... 87-2-4- انتخاب سایز لوله بر اساس سرعت جریان و Re 82-6-33
- 135 ..... 1-3- طراحی تانک‌ها و مخازن 82-6-35
- 135 ..... 87-3-1- نوع سطح داخلی، Ra، Polish 82-6-35

136	87-3-2- نصب Spray balls / Rotary spray devices
138	87-3-3- Baffles ، mixers و چالش‌های تمیزکاری آن‌ها
139	87-3-4- طراحی Manway ها، نازل‌ها و Vent filterها
141	1-4- Spray Devices پوشش‌دهی (Coverage)
142	87-4-1- Fixed spray balls vs Rotating spray heads
143	87-4-2- محاسبات پوشش‌دهی و Impact force
146	87-4-3- تست پوشش‌دهی (Riboflavin test و روش‌های مشابه)
149	1-5- نکات ویژه در طراحی تجهیزات مشکل-clean
149	1-5-87- Plate & Frame vs Tubular ، Heat exchangers
150	87-5-2- فیلترها و housings
151	87-5-3- instrumentation tees، sample ports
153	87-5-4- Pump CIPability
155	فصل 8: اعتبارسنجی تمیزکاری (Cleaning Validation)
155	1-6- مفاهیم پایه در Cleaning Validation
156	87-6-1- تفاوت Cleaning Validation و Cleaning Verification
158	87-6-2- Acceptance criteria و مبانی تعیین آن‌ها (Dose-based, 10 ppm, visually clean)
160	87-6-3- Worst-case selection (Product, Equipment, Process)
161	1-7- استراتژی اعتبارسنجی
161	87-7-1- Grouping & Bracketing محصولات و تجهیزات
163	87-7-2- Matrix approach برای کارخانه‌های پیچیده
165	87-7-3- تعداد ران‌ها، Reproducibility و Revalidation
167	1-8- روش‌های نمونه‌برداری
167	87-8-1- Swab sampling (contact)
169	87-8-2- Rinse sampling (rinsate)
170	87-8-3- Challenge ها و ترکیب هر دو روش
171	87-8-4- انتخاب نقاط نمونه‌برداری (Hard-to-clean locations)
174	1-9- روش‌های آنالیز آزمایشگاهی

- 174.....HPLC, GC, TOC, UV 87-9-1- و سایر روش‌ها
- 175.....Limit of Quantitation و Limit of Detection تعیین 87-9-2-
- 177.....Cleaning (Specific vs Non-specific) برای آنالیتیک روش اعتبارسنجی 87-9-3-
- 179.....Validation و مستندسازی اجرای 1-10-
- 180.....(Cleaning Validation Master Plan) طرح اصلی 87-10-1-
- 181.....(CVR)، گزارش‌ها (CVP)، پروتکل‌ها 87-10-2-
- 182.....CAPA و (Deviations) مدیریت انحراف‌ها 87-10-3-
- 184.....Validation مدیریت تغییرات پس از 87-10-4-
- 185.....1-11- Cleaning Verification در عملیات روتین
- 185.....(Conductivity, pH, TOC) تست‌های درجا 87-11-1-
- 187.....(bioburden, endotoxin) تست‌های میکروبیولوژیک 87-11-2-
- 188.....Verification و ارتباط آن با روند تولید 87-11-3-
- 189.....فصل 9: میکروبیولوژی و آلودگی در سیستم‌های CIP
- 189.....1-12- مبانی میکروبیولوژی مرتبط با CIP
- 190.....87-12-1- انواع میکروارگانیسم‌های مرتبط با صنایع دارویی و غذایی
- 191.....87-12-2- پایدارترین گونه‌ها نسبت به CIP و Sanitization
- 192.....1-13- تشکیل و کنترل Biofilm در سیستم‌ها
- 194.....1-14- آلودگی‌های میکروبی در سیستم‌های آب و CIP
- 194.....Purified Water, WFI, Process Water systems-1-14-87
- 196.....87-14-2- نقاط مستعد رشد میکروارگانیسم‌ها
- 197.....87-14-3- رابطه دما، جریان و Stagnation با bioburden
- 198.....1-15- کنترل میکروبی در CIP
- 198.....87-15-1- کاربرد حرارت، مواد ضدعفونی‌کننده و Sanitation
- 200.....87-15-2- استراتژی‌های multi-barrier برای کنترل میکروبی
- 201.....87-15-3- برنامه‌های monitor میکروبی (trend analysis)
- 202.....88-عیب‌یابی و حل مشکل (Troubleshooting)

207	..... Case Study 1-1-1 در یک سایت بیوتکنولوژی
207	..... Downstream CIP-92-1-1 برای بیوراکتور و سیستم‌های
208	..... SIP و CIP هم‌زمانی CIP-92-1-2
209	..... Cross-contamination 92-1-3 بهینه‌سازی سیکل برای کاهش
211	..... 1-2-1 اشتباهات واقعی (Real Failures) و درس‌های آموخته‌شده
211	..... Cleaning Validation و Recall محصولات 92-2-1 شکست در
212	..... 92-2-2 خوردگی شدید ناشی از انتخاب غلط مواد شوینده
213	..... 92-2-3 مشکلات میکروبی پایدار و اقدامات اصلاحی
214	..... فصل 14: روندهای آینده و تکنولوژی‌های نوین در CIP
214	..... 1-3-1 تکنولوژی‌های نو در CIP
214	..... Enzyme-based CIP ، Freeze CIP-1-3-92
217	..... 92-3-2 استفاده از Sensors هوشمند و PAT در CIP
218	..... Single-use CIP-92-3-3 برای سیستم‌های
220	..... Industry 4.0 و دیجیتالی‌سازی 1-4-
220	..... 92-4-1 تحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی هوشمند سیکل‌ها
221	..... Digital Twin-92-4-2 برای سیستم‌های CIP
222	..... Predictive maintenance-92-4-3 بر اساس داده‌های CIP
224	..... 1-5-1 تمایلات رگولاتوری و صنعتی آینده
224	..... Sustainability 92-5-1 تمرکز بیشتر بر
225	..... Cleaning Validation و Data Integrity 92-5-2 افزایش سخت‌گیری در
226	..... نقش هوش مصنوعی در طراحی و مانیتورینگ CIP 92-5-3

## پیشگفتار نویسنده

### چطور مسیر من به CIP رسید؟

آشنایی من با مفهوم **CIP (Clean-in-Place)** نه از دل کتابها، بلکه از دل کار در محیط واقعی صنعت شکل گرفت. در سال‌هایی که در بخش‌های مختلف تولید، تحقیق و توسعه و تضمین کیفیت فعالیت می‌کردم، بارها با مسائلی روبه‌رو شدم که در ظاهر پیچیده بودند، اما در نهایت ریشه آن‌ها به یک موضوع ساده برمی‌گشت: تمیز بودن واقعی تجهیزات و خطوط فرآیندی.

در بسیاری از مواقع، یک فرآیند از نظر طراحی درست بود و مواد اولیه هم مشکلی نداشت، اما نتایج آزمایش‌ها یا رفتار فرآیند چیز دیگری نشان می‌داد؛ افزایش **Bioburden**، مشاهده **Endotoxin** در جایی که انتظارش نمی‌رفت، یا باقی‌ماندن ردهایی از محصول قبلی در سیستم. در چنین شرایطی معمولاً نگاه‌ها به سمت سیستم‌های **Cleaning** و به‌طور خاص **CIP** برمی‌گشت.

در نگاه اول، **CIP** ممکن است صرفاً یک عملیات شست‌وشوی ساده به نظر برسد؛ چند مرحله گردش محلول قلیایی یا اسیدی و سپس آبکشی. اما هرچه بیشتر با این سیستم‌ها کار کردم، بیشتر مشخص شد که **CIP** در واقع ترکیبی از مهندسی، شیمی، میکروبیولوژی، طراحی بهداشتی تجهیزات و کنترل فرآیند است. اینکه یک سیستم واقعاً تمیز شود، فقط به مواد شوینده وابسته نیست؛ بلکه به طراحی خطوط، سرعت جریان، دما، جنس سطوح، وجود یا عدم وجود **Dead Leg**ها و بسیاری جزئیات دیگر وابسته است.

از سوی دیگر، در بسیاری از کارخانه‌ها هر بخش فقط بخشی از این تصویر را می‌بیند. تولید بیشتر درگیر اجرای سیکل‌هاست، مهندسی به تجهیزات و جریان نگاه می‌کند، میکروبیولوژی به آلودگی‌ها توجه دارد و واحد تضمین کیفیت بیشتر روی **Cleaning Validation** تمرکز می‌کند. در حالی که **CIP** در واقع نقطه اتصال همه این حوزه‌هاست.

هدف از نوشتن این کتاب این بوده که تصویری منسجم از این سیستم ارائه شود؛ از ماهیت آلودگی‌ها و رفتار سطوح گرفته تا طراحی سیستم‌های **CIP** و روش‌های ارزیابی تمیزی. تلاش شده مطالب به شکلی بیان شوند که هم برای افرادی که تازه وارد صنعت شده‌اند قابل فهم باشند و هم برای متخصصانی که می‌خواهند نگاه عمیق‌تری به این موضوع داشته باشند مفید واقع شوند.

اگر بعد از خواندن این کتاب، وقتی به یک **CIP Skid** یا یک خط فرآیندی نگاه می‌کنید، با دقت بیشتری به طراحی، جریان سیال یا امکان تمیز شدن واقعی آن فکر کنید، این کتاب به هدف خود نزدیک شده است.



سعید کارگر

تهران - 1405

# فصل 1: اصول پایه‌ای شستشو و بهداشت صنعتی

## 1-1- مبانی تئوری تمیز کردن (Cleaning Theory)

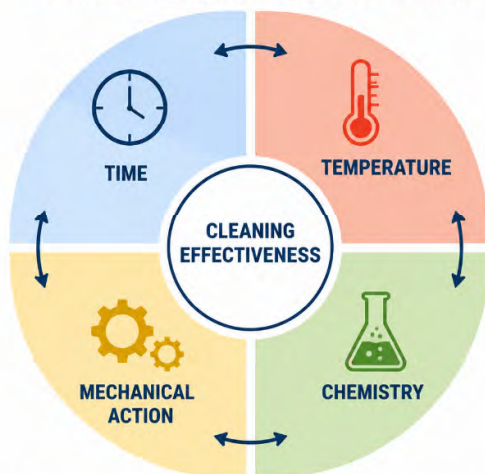
در این بخش به مبانی تئوری تمیز کردن با تمرکز بر کاربرد آن در CIP در صنایع بیوتکنولوژی و دارویی پرداخته می‌شود. هدف، درک علمی از این است که «چرا» و «چگونه» سطوح فرایندی تمیز می‌شوند، نه فقط «چه» موادی استفاده می‌شود.

### 1-1-1 Sinner's Circle و چهار پارامتر اصلی تمیز کردن

مدل کلاسیک Sinner's Circle (یا Sinner's Circle of Cleaning) تمیز کردن را حاصل برهم‌کنش چهار پارامتر

می‌داند:

#### SINNER'S CIRCLE OF CLEANING



Optimal cleaning is achieved by balancing all four factors. Reducing one factor requires increasing one or more of the others to maintain effectiveness.

1. زمان (Time)

2. دما (Temperature)

3. شیمی (Chemistry)

4. مکانیک (Mechanical action)

این چهار عامل با هم یک «سیستم» را تشکیل می‌دهند؛ کاهش یکی از آنها باید با افزایش یکی یا چند عامل دیگر جبران شود تا همان سطح تمیزکنندگی حاصل شود.

1.1 زمان (Time)

زمان در تمیز کردن به مدت تماس محلول شوینده با سطح آلوده اشاره دارد.

- زمان تماس: هر چه مدت تماس محلول شوینده با سطح بیشتر باشد، فرصت بیشتری برای نفوذ، حل کردن، امولسیون‌کردن و جدا کردن آلودگی وجود دارد.
- زمان خیس‌خوری (Soaking): در برخی سامانه‌ها، پیش‌خیس کردن (Pre-soak) با آب یا محلول رقیق، باعث نرم‌شدن لایه‌های خشک‌شده آلودگی و کاهش نیاز به نیروهای مکانیکی می‌شود.

کلید حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به [www.biotecher.ir](http://www.biotecher.ir) است. هرگونه استفاده، تکثیر، بازنشر یا توزیع تمام یا بخشی از این اثر بدون اجازه کتبی از صاحب اثر ممنوع است.

- **زمان مرحله‌ای در CIP:** در یک سیکل CIP، مدت زمان‌های اختصاص‌یافته برای Pre-Rinse، شستشوی قلیایی، شستشوی اسیدی و آبکشی نهایی، همگی طراحی مبتنی بر سینتیک تمیزشدن دارند (در بخش‌های اختصاصی طراحی سیکل به تفصیل بحث می‌شود).

**پیام کاربردی:** در شرایطی که به دلایل فرایندی یا محدودیت تجهیزات، امکان افزایش دما یا غلظت شیمیایی محدود است، طولانی‌تر کردن زمان تماس (مثلاً افزایش مدت فاز قلیایی) می‌تواند کارایی تمیزکردن را بالا ببرد.

## 1.2 دما (Temperature)

- دما یکی از قوی‌ترین محرکها برای افزایش کارایی تمیزکردن است، به‌ویژه در مواجهه با آلودگی‌های چرب و پروتئینی.
- **کاهش ویسکوزیته:** افزایش دما، ویسکوزیته رسوبات چرب و بسیاری از محلول‌ها را کاهش داده و نفوذ شوینده را تسهیل می‌کند.
- **افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی:** واکنش‌های هیدرولیز، صابونی‌شدن و دناتوراسیون پروتئین‌ها معمولاً با افزایش دما سریع‌تر می‌شوند (طبق قانون آرنیوس، که در ادامه در بحث سینتیک اشاره می‌شود).
- **حلالیت:** بسیاری از نمک‌های معدنی در دماهای بالاتر بهتر حل می‌شوند، اما باید توجه داشت برخی رسوبات (مثل سنگ شیر یا برخی فسفات‌ها) رفتار پیچیده‌تری دارند.

در CIP، محدوده‌های دما معمولاً از حدود 50 تا 85 درجه سانتی‌گراد برای فاز قلیایی و 50 تا 70 درجه سانتی‌گراد برای فاز اسیدی است، اما دمای بهینه به نوع آلودگی، پایداری محصول باقی‌مانده و محدودیت‌های تجهیزات (مثل واشرها و گسکت‌ها) وابسته است.

**محدودیت مهم:** دمای بیش‌ازحد می‌تواند پروتئین‌های موجود بر سطح را شدیداً دناتوره و Aggregation ایجاد کند و در نتیجه آلودگی را «ثابت» و سخت‌تر تمیزشونده کند. در فرایندهای بیوتکنولوژی با بار پروتئینی بالا، انتخاب دما باید با دقت انجام شود.

## 1.3 شیمی (Chemistry)

منظور از «شیمی» در Sinner's Circle نوع و غلظت عوامل شیمیایی است که در تمیزکردن استفاده می‌شوند:





**قلیایها** مانند هیدروکسید سدیم (NaOH) از مهم‌ترین مواد شیمیایی مورد استفاده در سیستم‌های تمیزکاری به‌شمار می‌روند. این ترکیبات با ایجاد محیط قلیایی قوی، قادر به حل و هیدرولیز چربی‌ها هستند؛ فرایندی که به صابونی‌شدن لپیدها منجر می‌شود و جداسازی آن‌ها از سطح تجهیزات را تسهیل می‌کند. علاوه بر این، قلیایها باعث دناتوراسیون پروتئین‌ها شده و حلالیت آن‌ها را افزایش می‌دهند، در نتیجه پروتئین‌های چسبیده به سطوح راحت‌تر در محلول شستشو پراکنده می‌شوند. محیط قلیایی همچنین می‌تواند به تجزیه ساختار بیوفیلم‌ها کمک کند، زیرا افزایش pH موجب آسیب به ماتریکس پلیمری خارج‌سلولی می‌شود و انسجام لایه بیوفیلم را کاهش می‌دهد.




اسیدها، مانند اسید نیتریک، اسید فسفریک و اسید سیتریک، نقش مکملی در فرآیند تمیزکاری ایفا می‌کنند. این ترکیبات به‌ویژه در حل رسوبات معدنی مؤثر هستند. رسوباتی مانند کربنات‌ها، اکسیدهای فلزی و سنگ شیر که در بسیاری از فرایندهای صنعتی تشکیل می‌شوند، توسط محیط اسیدی حل شده و از سطح تجهیزات جدا می‌شوند. علاوه بر این، استفاده کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به [www.biotecher.ir](http://www.biotecher.ir) است. هرگونه استفاده، تکثیر، بازنشر یا توزیع تمام یا بخشی از این اثر بدون اجازه کتبی از صاحب اثر ممنوع است.

از اسیدها می‌تواند به حذف لایه‌های پسیو آسیب‌دیده کمک کرده و سطح فولاد زنگ‌زن را برای ایجاد مجدد لایه محافظ آماده کند.

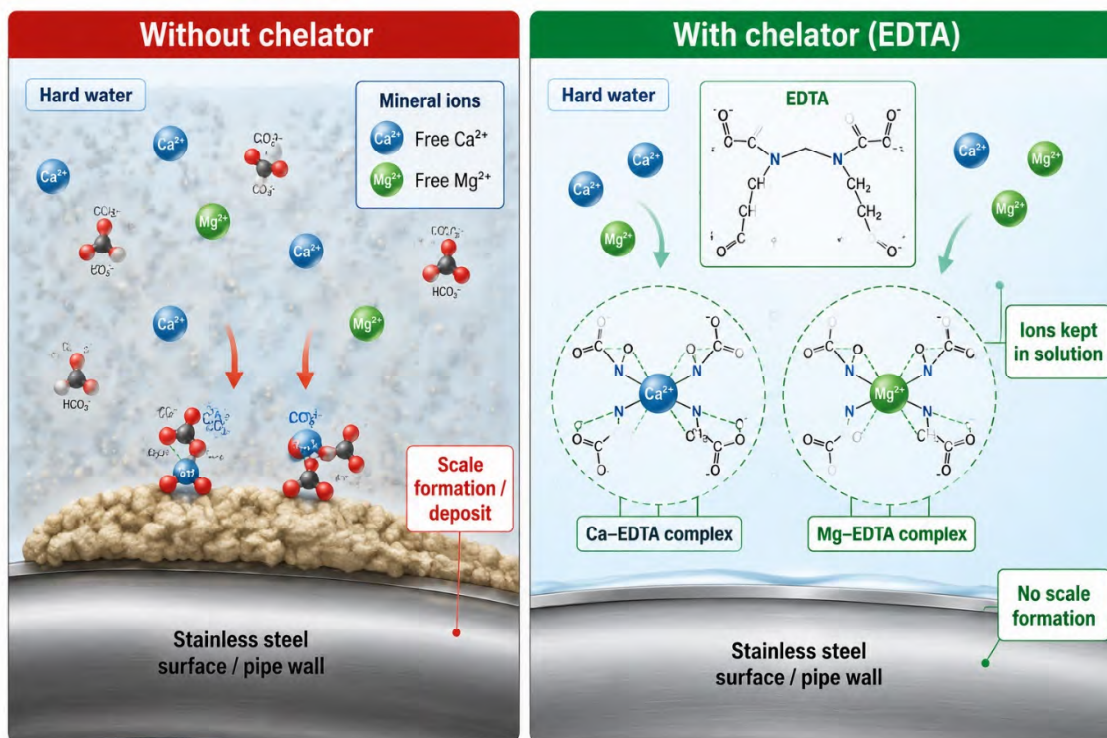
مواد فعال سطحی یا سورفکتانت‌ها نیز بخش مهمی از فرمولاسیون شوینده‌ها را تشکیل می‌دهند. این ترکیبات با کاهش کشش سطحی آب، خیس‌شدن بهتر سطوح را ممکن می‌سازند و تماس مؤثر محلول شوینده با آلودگی‌ها را افزایش می‌دهند. همچنین سورفکتانت‌ها قادرند روغن‌ها و لیپیدها را امولسیون کنند، به‌طوری‌که این مواد چرب در فاز آبی پایدار شده و از سطح تجهیزات جدا شوند.

**Industrial Cleaning in CIP Systems**

	 Fat / Oil	 Protein	 Mineral Scale	 Biofilm
Alkali	✓	✓	✗	✓
Acid	✗	✗	✓	⊕
Surfactant	✓	⊕	✗	✓
Chelator	✗	✗	⊕	⊕
	✓	✗	✗	✓

 High   
  Moderate   
  Low

گروه دیگری از مواد شیمیایی مورد استفاده در شوینده‌ها، کمپلکس‌کننده‌ها یا کی‌لیتورها مانند EDTA هستند. این ترکیبات با یون‌های سختی آب، به‌ویژه کلسیم ( $Ca^{2+}$ ) و منیزیم ( $Mg^{2+}$ )، پیوند برقرار کرده و آن‌ها را در محلول نگه می‌دارند. در نتیجه از تشکیل رسوبات جدید جلوگیری می‌شود. علاوه بر این، کی‌لیتورها می‌توانند به حل رسوبات معدنی که با پروتئین‌ها یا سایر مواد آلی ترکیب شده‌اند نیز کمک کنند.



اکسیدکننده‌ها مانند پراستیک اسید و هیپوکلریت سدیم نیز در برخی کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرند، هرچند در تجهیزات دارویی استفاده از آنها با ملاحظات خاصی همراه است. این مواد با شکستن ساختارهای آلی، به تخریب آلودگی‌ها و از بین بردن بیوفیلم‌ها کمک می‌کنند. در بسیاری از موارد، این ترکیبات نقش دوگانه دارند؛ به این معنا که علاوه بر کمک به فرآیند تمیزکاری، خاصیت ضدعفونی‌کنندگی نیز دارند، اگرچه بحث ضدعفونی به‌طور جداگانه بررسی می‌شود.

غلظت ماده شیمیایی در محلول شوینده باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که تعادل مناسبی میان کارایی تمیزکاری، هزینه عملیاتی، سازگاری با تجهیزات و ایمنی اپراتور برقرار گردد. استفاده بیش از حد از قلیاها، علاوه بر افزایش خطر فرسایش تجهیزات، می‌تواند موجب تشکیل رسوبات سیلیکا و تغییر در زبری سطح تجهیزات شود.

#### 1.4 مکانیک (Mechanical Action)

نیروهای مکانیکی نقش مهمی در جداسازی فیزیکی آلودگی‌ها از سطح تجهیزات دارند. این نیروها باعث می‌شوند لایه‌های آلودگی که به سطح چسبیده‌اند تحت اثر برش و ضربه هیدرودینامیکی از سطح جدا شده و به داخل جریان سیال منتقل شوند. در سیستم‌های تمیزکاری، این اثر مکانیکی از طریق جریان سیال، پاشش محلول‌ها و سایر پدیده‌های هیدرودینامیکی ایجاد می‌شود.

یکی از مهم‌ترین عوامل مکانیکی در سیستم‌های CIP ایجاد جریان متلاطم در لوله‌ها است. برای دستیابی به چنین شرایطی، سرعت خطی سیال در خطوط معمولاً باید بیش از حدود 1.5 تا 2 متر بر ثانیه باشد. این سرعت باعث ایجاد رژیم جریان متلاطم و تولید نیروهای برشی مناسب می‌شود. تلاطم جریان موجب نازک‌شدن لایه مرزی اطراف سطوح می‌گردد و در نتیجه انتقال جرم میان محلول شوینده و سطح تجهیزات تسهیل می‌شود. به این ترتیب، مواد شوینده سریع‌تر به سطح آلودگی‌ها می‌رسند و آلودگی‌های جداشده نیز راحت‌تر به داخل فاز مایع منتقل می‌شوند.

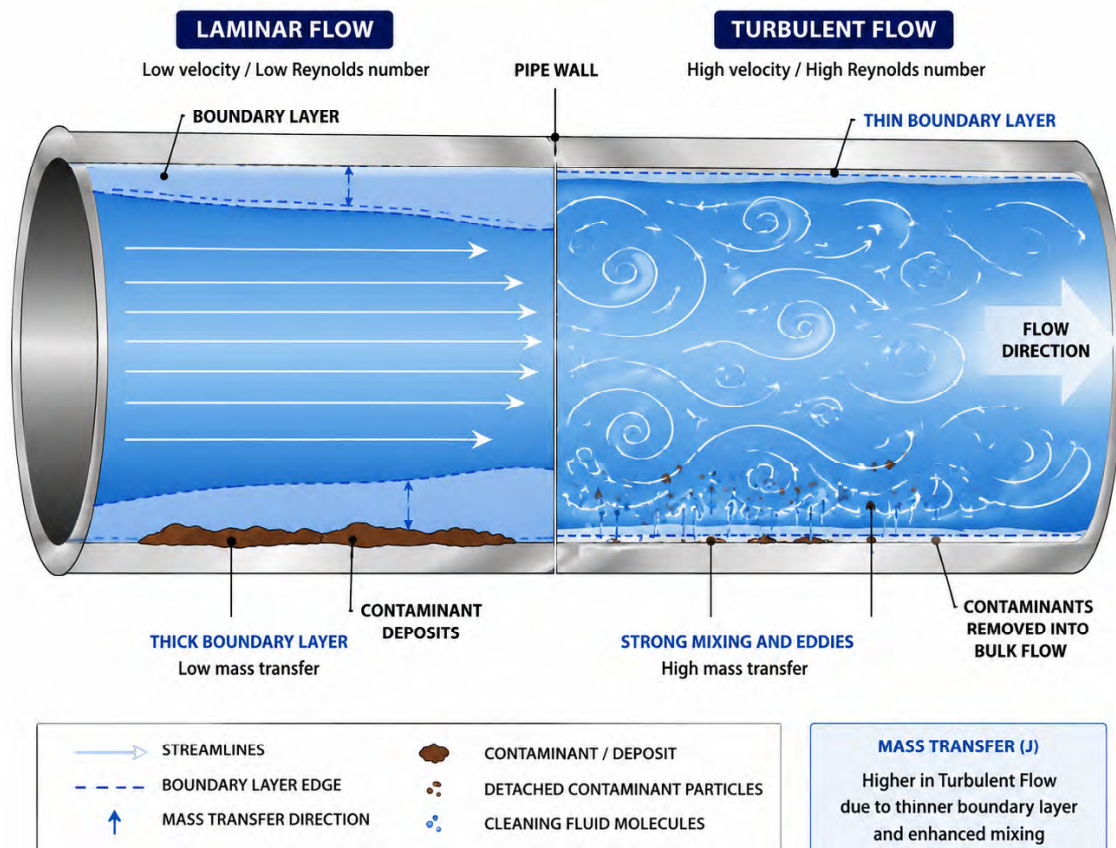
کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به [www.biotecher.ir](http://www.biotecher.ir) است. هرگونه استفاده، تکثیر، بازنشر یا توزیع تمام یا بخشی از این اثر بدون اجازه کتبی از صاحب اثر ممنوع است.

در مخازن و تجهیزات بزرگ، ایجاد اثر مکانیکی اغلب از طریق اسپری بال‌ها یا هدهای چرخان انجام می‌شود. این تجهیزات با تولید جت‌های پرفشار از آب یا محلول شوینده، انرژی جنبشی سیال را مستقیماً به سطح منتقل می‌کنند. برخورد این جت‌ها با سطح تجهیزات باعث کنده‌شدن رسوبات و انتقال آن‌ها به جریان مایع می‌شود. طراحی مناسب این نازل‌ها و محل قرارگیری آن‌ها در داخل مخزن نقش مهمی در شستشوی کامل نقاط سخت‌دسترس دارد.

در برخی سامانه‌ها، پدیده‌هایی مانند تشکیل حباب‌ها یا گاویناسیون ملایم نیز می‌تواند در فرآیند تمیزکاری مؤثر باشد، اگرچه این روش‌ها لزوماً بخشی از طراحی استاندارد سیستم‌های CIP محسوب نمی‌شوند.

در سیستم‌های CIP به دلیل بسته بودن تجهیزات، امکان استفاده از روش‌های مکانیکی مستقیم مانند برس‌زدن یا اسکراب دستی وجود ندارد. به همین دلیل، طراحی صحیح جریان سیال، انتخاب مناسب پمپ‌ها و نازل‌ها، و ایجاد تلاطم کافی در داخل خطوط و مخازن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

## BOUNDARY LAYER AND TURBULENCE EFFECT ON MASS TRANSFER IN A PIPE (CIP CLEANING SYSTEMS)



**TURBULENCE ENHANCES MASS TRANSFER, IMPROVING CIP CLEANING EFFICIENCY**

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به [www.biotecher.ir](http://www.biotecher.ir) است. هرگونه استفاده، تکثیر، بازنشر یا توزیع تمام یا بخشی از این اثر بدون اجازه کتبی از صاحب اثر ممنوع است.