

మొదటి సంపుటము

జనవరి 2026

రెండవ సంచిక

# విజ్ఞాన భారతి

సంపాదకుడు: పరిగి మదన్ మోహన్

రెండు నెలలకొకసారి ప్రచురించబడును

సంపుటి I

జనవరి 2026

సంచిక 2

## విషయ సూచిక

	3	సంపాదకీయము
	4	మనవి
శ్రీ ఆరి సీతారామయ్య	5	హీమోగ్లోబినులో దూరపు సంబంధాలు
శ్రీ అంగర గోపాలకృష్ణారావు	15	విజయవాడ తాప విద్యుత్ కేంద్రం ఆవిర్భావం
శ్రీ కొచ్చెర్లకోట బాపారావు	23	పరిమిత దశా యంత్రం: కృత్రిమ మేధ పరికరాల అవగాహనకి మొదటి మెట్టు
శ్రీ జెజ్జాల కృష్ణమోహనరావు	37	సౌష్ఠవము - 2
శ్రీ గాడేపల్లి సుబ్రహ్మణ్యం	41	చీకటి నుంచి వెలుగు దాకా: విద్యుత్తు పాత్ర
	45	ధన్యవాదాలు



విజ్ఞాన భారతి ప్రచురణలు. ఫ్రెడరిక్. మేరీల్యాండ్. అమెరికా.

## సంపాదకీయం

విజ్ఞాన భారతి రెండవ సంచికకు స్వాగతం. ముందుగా మొదటి సంచికను చదివి తమ స్పందనలను తెలియజేసిన వారికి, పాఠకులకు అందరికీ మా హృదయపూర్వక కృతజ్ఞతలు.

గత నాలుగైదు వందల ఏళ్లుగా విజ్ఞాన శాస్త్ర పరంగా సాంకేతికతా పరంగా జరిగిన అభివృద్ధి ప్రధానంగా యూరపులో కేంద్రీకృతమై సాగిందని తెలుగు విజ్ఞానకు తెలుసు. ఆ పరిణామాలకు గల పలు కారణాలను జార్జ్ సార్టన్ (Sarton) వంటి విజ్ఞాన చరిత్రకారులు చక్కగా విపులంగా విశ్లేషించి వివరించారు. అదొక సాహిత్య ప్రక్రియ. విజ్ఞాన శాస్త్రం వెనుక గల చరిత్ర. Sarton వంటి విపులమైన గ్రంథాలు భారతీయ వైజ్ఞానికుల చరిత్రపై లేవనే చెప్పుకోవాలి.

ఆయన గ్రంథాల ద్వారా ఇంగ్లీషు తదితర యూరపు భాషల వైజ్ఞానిక సాహిత్య వృద్ధిలో అనువాదాల ప్రముఖ పాత్ర మనకు తెలుస్తుంది. పరిశోధనలలో కనుగొనికలలో ఇటలీ, ఫ్రాన్సు, జర్మనీలు ముందడుగు వేసి గ్రంథ రచన గావిస్తున్నప్పుడు, వాటికి కొంత ఆలస్యంగా నైనా సంకల్పించి, పూనుకొని, సమర్థులైన పండితులచే అనువాదాలను వెలయించుకున్నారు ఇంగ్లీషువారు. కొన్ని సందర్భాలలో ఆ ఆలస్యం వంద, రెండు వందల ఏళ్లు కూడా జరిగిన దాఖలాలు ఉన్నాయి.

ఇటువంటి పని తెలుగులో జరగాలి. తెలుగులో వైజ్ఞానిక సాహిత్యం మూడు రకాలుగా ఊహించవచ్చు.

పాఠకులు ఈ పత్రికను తాము చదివి ఇతరులచే చదివించి, రచయితలు తమ అమూల్య రచనలను పంపించి, విమర్శకులు తప్పుప్పులు తెలిపి బాగోగులు సూచించి మా ప్రయత్నాన్ని ప్రోత్సహిస్తారని ఆశిస్తున్నాం.

మొదటిది సృజనాత్మక స్వతంత్ర రచనలు. ఇవి అధునాతన విజ్ఞానంతో సన్నిహిత సంబంధం ఉన్న ఆచార్యుల వంటి వారు చేయదగినది. రెండవది అనువాదాలు. దీనికి శాస్త్ర పరిచయం, రెండు భాషలలోను మంచి అభినివేశం ఉన్నవారు కావాలి. మూడవది సంకలన రచనలు. అంటే పలు గ్రంథాలను సమీక్షించి సేకరించి, అవసరమైన చోట్ల సందిగ్ధతను పరిష్కరించి సరికొత్త రూపంలో గ్రంథాన్ని సంతరించడం. ఇందులో కొంత స్వతంత్ర రచన ఉంటుంది గనక దీనికి పై రెండు కోవలలోని అభినివేశమూ కావాలి. ఈ విధంగా మూడు కోవల సాహిత్యాన్ని సృష్టించడానికి తెలుగులో ఆస్కారమున్నది.

ఆధునిక శాస్త్ర సాంకేతిక విద్యల గురించిన సాహిత్యం లేని భాషకు అధికారం ఉండదు. ప్రపంచంలో గౌరవం ఉండదు. ప్రపంచం దాకా ఎందుకు, సొంత భాషీయులే నిరాదరించటం మనం చూస్తున్నాం.

ఇంగ్లీష్ భాష ఎదుగుదలకు కారణాల్లో రెండు ముఖ్యమైనవి. ఒకటి, ఇతర భాషల నుంచి పదాలను ధారాళంగా తీసుకోవడం. అందుకే ఇప్పుడు ఇంగ్లీషులో బయటనుంచి వచ్చిన పదాలు 70 శాతంకి పైగా ఉన్నాయి. రెండు, వ్యాకరణాన్ని సులభతరం చేసుకోవడం.

తెలుగు విజ్ఞాన శాస్త్ర వృద్ధికి ఈ రెండూ విజ్ఞాలు ఆలోచించవలసిన విషయాలు.

\*\*\*

## మనవి

తెలుగులో వైజ్ఞానిక సాహిత్యం పట్ల మీ అభిప్రాయాలను రెండు వందల పదాలకు మించకుండా వ్యాసం రాసి మాకు జనవరి 31 లోగా పంపండి. భాష గురించి, పరిభాష గురించి, శాస్త్రాల గురించి, శాస్త్ర విభాగాల గురించి, దేని గురించైనా మీ అభిప్రాయాలను మాకు తెలియజేయండి.

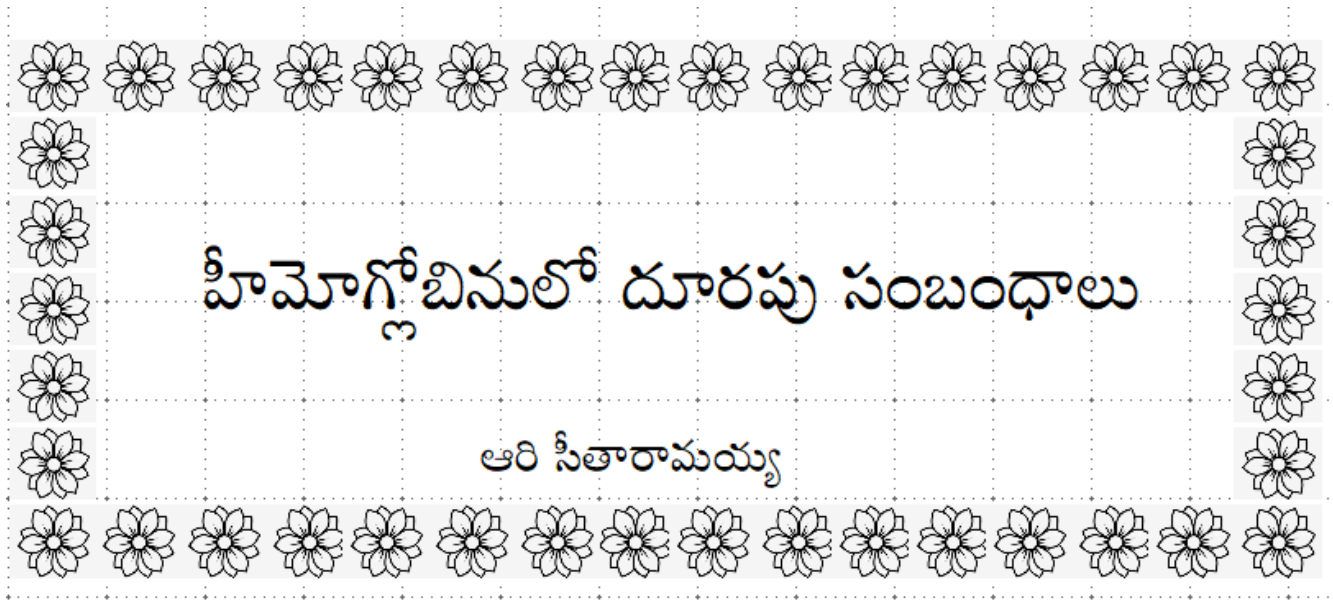
ఇక పత్రికలోని ప్రధాన వ్యాసరచనలకు నిడివి నిబంధన ఏమీ లేదు. అయితే వ్యాసం గ్రంథమంత అయిపోకూడదు. వ్యాస విషయం సైన్సు, ఇంజనీరింగు, వైద్యానికి సంబంధించినదై ఉండాలి.

జీవ, గణిత, భౌతిక, రసాయనిక, భూ, భూగర్భ, భౌగోళిక, ఖగోళ, వాతావరణ ఇత్యాది వివిధ ప్రాథమిక శాస్త్రాలు, గని, లోహ, నిర్మాణ, యంత్ర, రసాయన, విద్యుత్, ఎలక్ట్రానిక, కలన, మాపక, వ్యవసాయ ఇత్యాది సాంకేతికతా తంత్ర శాస్త్రములు (engineering), కణ, జన్యు, సంతాన, రక్త, గుండె, ఉదర, ఊపిరి, మేధ, కండ, కార్జ, ప్లిహ, మూత్రాంగ, చర్మ, రోగ, ఔషధ, ఆరోగ్య ఇత్యాది వైద్య సంబంధిత విభాగములు — అన్నీ మన వ్యాసములకు ఆసక్తికరమైన అంశములే.

వ్యాసాలు పంపవలసిన గడువు తేదీ **జనవరి 31, 2026**  
విజ్ఞాన భారతి మూడవ సంచిక విడుదల తేదీ **మార్చి 1, 2026**

మా చిరునామా: [teluguvbharati@gmail.com](mailto:teluguvbharati@gmail.com)

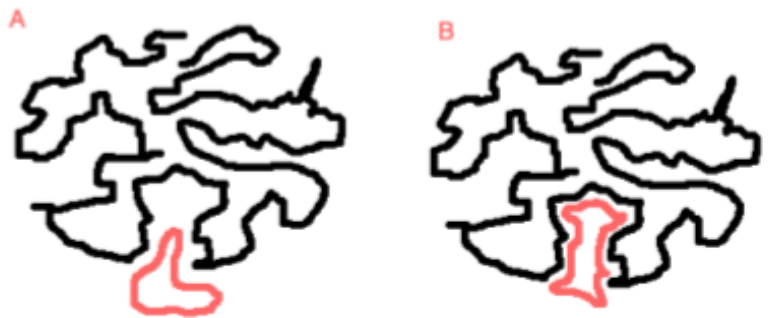
(మధ్యలో v ఉంది సుమా!)



జాక్ మోనో (1910-1976) ఈ.కోలై పెరుగుదల మీద చేసిన ప్రయోగాల గురించి ఇదివరకే మాట్లాడుకున్నాం (విజ్ఞాన భారతి, నవంబరు 2025). ఆ ప్రయోగాల ఫలితంగా ఒక జీను (gene, జనువు, జన్యు ఖండం) లో ఉన్న సమాచారం ఆధారంగా ఒక ప్రోటీను తయారు కావడాన్ని ఇతర ప్రోటీన్లు గానీ, చిన్న అణువులు గానీ ఎలా నియంత్రిస్తాయో తెలుసుకున్నాం. నియంత్రణ పలువిధాలుగా ఉండవచ్చు. వాటిలో ఒకటి, బహుశా అన్నిటికంటే ముఖ్యమైనది, ఎల్లోస్టీరిక్ నియంత్రణ (allosteric regulation). గ్రీకు భాషలో ἄλλος (allos) అంటే ఇతర అనీ, στερεός (stereos) అంటే చోటు అనీ అర్థం. ఎల్లోస్టీరిక్ నియంత్రణ అంటే ఒక పదార్థం ఒక ప్రోటీను మీద ఒక చోట కలిసి (అతుక్కుని), అదే ప్రోటీను మీద మరోచోట కలిసిన పదార్థాన్ని విడదీయడం, లేక దాని ఆతుకుని బలోపేతం చెయ్యడం. ఈ ప్రక్రియను అర్థం చేసుకోవడానికి, ఒక ఉదాహరణను పరిక్షించడానికి ముందు, అసలు ఒక పదార్థం ఒక ప్రోటీనుని కలవడం (చేరడం, పట్టుకోవడం, అతుక్కోవడం) అంటే ఏమిటో అర్థం చేసుకుందాం.

### ఆకారం, రూపం

మన శరీర కణాల్లో (సూక్ష్మ క్రిముల కణాల్లో కూడా) ప్రోటీన్లు ద్రవ పదార్థంలో కదులుతూ ఉంటాయి. ప్రోటీన్లు రెండు రకాల రూపాల్లో ఉంటాయి: కొన్ని బంతుల్లాగా ఉంటాయి (ఉదా: రక్తంలో ఉండే హీమోగ్లోబిను), మరికొన్ని కడ్డీల్లాగా ఉంటాయి (ఉదా: గోళ్లలో వెంట్రుకల్లో ఉండేవి). మనం బంతుల రూపంలో ఉండే ప్రోటీన్ల గురించి మాట్లాడుకుందాం. ప్రోటీన్ల ఉపరితలం నున్నగా ఉండదు, ఎత్తుపల్లాలు, గుంటలు, బుడుపులు ఉంటాయి. కణ ద్రవ్యంలో ప్రోటీన్లు సంచరిస్తున్నప్పుడు చిన్నాపెద్దా పదార్థాలు వాటికి తగులుతూ ఉంటాయి. అలా తారసపడిన ప్రతి పదార్థం ప్రోటీనుతో అతుక్కుని సిరమైన బంధం ఏర్పరచుకోలేదు. చాలావరకు తగిలి, తప్పుకుని పోతూ ఉంటాయి. సిరమైన బంధం ఏర్పడాలంటే, తారసపడిన పదార్థానికి, అది తగిలిన ప్రోటీను ఉపరితల స్థానానికి అనువైన ఆకారాలుండాలి (1వ బొమ్మలో B లో ఉన్నట్లు).



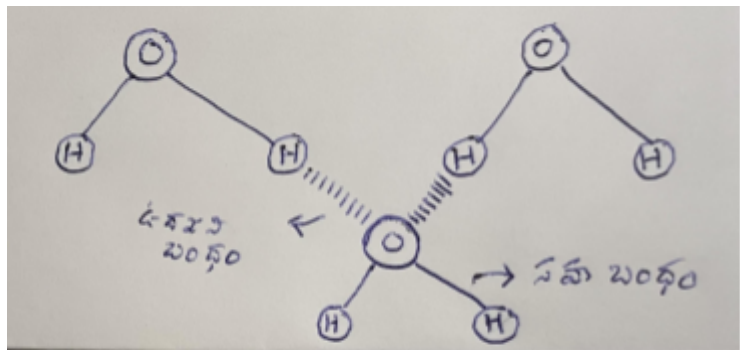
1వ బొమ్మ: ప్రోటీన్ తో కలవడానికి అనువుకాని పదార్థ రూపము (A) అనువైన పదార్థ రూపము (B)

తగిన ఆకారాలు ఉన్నంత మాత్రాన మంచి బంధం ఏర్పడకపోవచ్చు. వాటితోబాటు పదార్థానికి ప్రోటీనుకీ మధ్య రసాయనిక బంధాలు ఏర్పడే అవకాశం ఉంటేనే ఫలప్రదమైన సంబంధం ఏర్పడే అవకాశం పెరుగుతుంది. అందుచేత రసాయనిక బంధాల గురించి కొంచెం వివరంగా తెలుసుకోవాల్సిన అవసరం ఉంది.

## రసాయనిక బంధాలు

రసాయనిక బంధాల్లో చాలారకాలున్నాయి. మొదట కోవలెంట్ బంధం గురించి మాట్లాడుకుందాం. ఒక కోవలెంట్ బంధం (సహబంధం, Covalent bond) రెండు మూలకాల (elements) మధ్య ఏర్పడుతుంది. ఇది ఏర్పడటానికి ఆ రెండు మూలకాలు ఒక్కో ఎలక్ట్రాన్ని ఇస్తాయి. ఆ రెండు ఎలక్ట్రాన్లు ఇప్పుడు సహబంధం ద్వారా ఆ రెండు మూలకాల అధీనంలో ఉంటాయి. మన శరీరంలో ఉన్న అణువుల్లో ఉన్న మూలకాల్లో ముఖ్యమైనవి కొన్ని కర్బనం (C, Carbon), ఉదజని (H, Hydrogen), ప్రాణవాయువు (O, Oxygen), నత్రజని (N, Nitrogen), గంధకం (S, Sulfur), ఫాస్ఫరస్ (P, Phosphorus). ప్రతి మూలకానికి ఎలక్ట్రాన్లు కీ (e, electron) మధ్య ఉన్న ఆకర్షణ అన్ని రసాయనిక బంధాలకూ, మార్పులకూ కారణం. ప్రతి మూలకానికి ఎలక్ట్రాన్లు మీద ఉన్న ఆకర్షణకు (electronegativity) ఒక సంఖ్యపరమైన విలువ ఉంది. ఉదాహరణకు H విలువ 2.20; C, 2.55; N, 3.04; O, 3.44; P, 2.19; S, 2.58. ఈ ఎలెక్ట్రాన్లు ఆకర్షణ ప్రభావం ఎంతో చూద్దాం. రెండు కర్బనం మూలకాల మధ్య సహబంధం ఉందనుకుందాం. అంటే R-C-C-R<sup>1</sup> ఏర్పడింది. ఇలాంటి బంధం ఏర్పడిందంటే రెండు మూలకాలూ ఒక్కో ఎలక్ట్రాన్ని ఇచ్చాయి. బంధానికి రెండు వైపులా ఒకే మూలకం ఉంది కాబట్టి వాటికి ఆ రెండు ఎలక్ట్రాన్లు మీదా సమమైన ఆకర్షణ ఉంటుంది.

ఇప్పుడు ఒక ప్రాణవాయువు మూలకానికి (O) ఒక ఉదజని మూలకానికి (H) మధ్య సహబంధం ఉందనుకుందాం: R-O-H. బంధానికి ఒక వైపు ఉన్న H కి ఎలక్ట్రాన్ ఆకర్షణ (ఎ.ఆ.) 2.20, మరో వైపు ఉన్న O కి ఎ.ఆ. 3.44. వాటి మధ్య తేడా 1.24. ఇంత పెద్ద తేడా ఉండటం వల్ల సహబంధంలో ఉన్న రెండు ఎలక్ట్రాన్లు O వైపుకు దగ్గరగా ఉంటాయి. దాని వైపు మొగ్గు చూపించడం వలన O కాస్త నెగెటివు గానూ (δ<sup>-</sup>) (partially negative) (ఎలక్ట్రాన్లు నెగెటివు కాబట్టి), H కాస్త పాజిటివు గానూ (δ<sup>+</sup>) (partially positive) మారతాయి. ఎలక్ట్రాన్ ఆకర్షణ



2వ బొమ్మ: రసాయనిక బంధాలు: సహ బంధం, ఉదజని బంధం

అసమానంగా ఉన్న ఇలాంటి సహబంధాన్ని **అసమాన బంధం** (polar bond) అని కూడా అంటారు. ఇప్పుడు ఈ O తనకు దగ్గరగా ఉండి పాజిటివుగా ఉన్న ఇతర మూలకాలను ఆకర్షిస్తుంది, H తనకు దగ్గరగా ఉన్న నెగెటివుగా ఉన్న మూలకాలను ఆకర్షిస్తుంది. అలాంటి ఆకర్షణకు గురై చేరిన మూలకాల మధ్య ఒక కొత్త రకం బంధం ఏర్పడుతుంది. దీన్ని హైడ్రోజను బాండ్ (Hydrogen bond, **ఉదజని బంధం**) అంటారు. రెండవ బొమ్మలో నిలువు గీతలతో (III) చూపించబడింది. సహబంధంలో లాగా రెండు ఎలక్ట్రాన్లను పంచుకోవడం ఉదజని బంధంలో ఉండదు. మూలకాల మధ్య కొంత ఆకర్షణ మాత్రమే ఉంటుంది. అందువల్ల R-O-H లో ఉన్న సహబంధంతో పోలిస్తే R-O-H III O-R బంధం ఇరవై రెట్లు తక్కువ బలమైనది. R-N-H III N-R, R-N-H III O-R బంధాలు కూడా ఉదజని బంధాలే.

మరో రకమైన బంధాన్ని **అయాను బంధం** (ionic bond) అంటారు. ఉదజని బంధంలో ఉన్న మూలకాలకు కాస్త నెగెటివు (δ<sup>-</sup>), కాస్త పాజిటివు (δ<sup>+</sup>) చార్జి (charge) ఉంటే, అయాను బంధంలో ఉన్న మూలకాలమీద పూర్తి చార్జి ఉంటుంది. ఉదాహరణకు: R-(C(=O)-O<sup>-</sup>, <sup>+</sup>N(H<sub>3</sub>)-R) ల మధ్య ఏర్పడే బంధం. ఇక్కడ దగ్గరగా వచ్చిన O మీద పూర్తి నెగెటివు చార్జి ఉంది, N మీద పూర్తి పాజిటివు

<sup>1</sup> రసాయన శాస్త్రంలో ఒక అణువు నిర్మాణాన్ని పూర్తిగా చూపించకుండా వివరణకు అవసరమైనంతవరకే చూపించే సౌలభ్యం ఉంది. అణువులో ఉన్న మిగతా భాగాన్ని R అని రాయడం పరిపాటి.

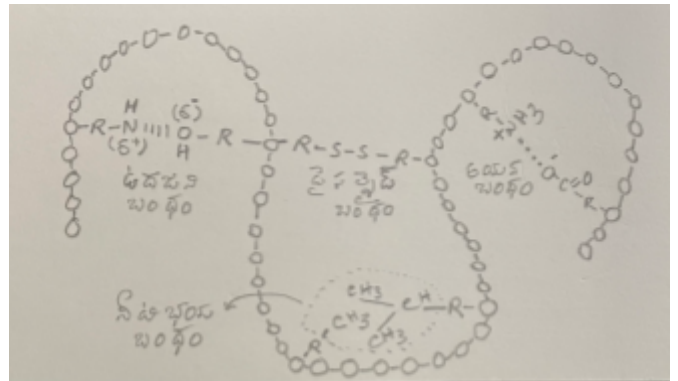


చార్జి ఉంది. వీటి మధ్య ఉండే బంధాన్ని  $(-O^{\cdot\cdot\cdot\cdot} \cdot N^{\cdot\cdot\cdot\cdot})$  అయాను బంధం అంటారు. ఆయాను బంధంలో ఉండే బలం సహబంధానికంటే తక్కువగా, ఉదజని బంధానికంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది.

మనం చెప్పుకోవలసిన మరో బంధం పేరు హైడ్రోఫోబిక్ బంధం (Hydrophobic bond). ఇది నిజమైన బంధం కాదు. పేరుకు తగ్గట్టు **నీటి భయం బంధం** మాత్రమే. ఉదాహరణకు  $CH_3-R$  ని తీసుకుందాం. C కి H కి మధ్య ఎ. ఆ. లో పెద్దతేడా లేదు, 0.35 మాత్రమే. అంటే ఈ బంధంలో ఎలక్ట్రాన్లు ఒకవైపు పెద్దగా మొగ్గు చూపవు. అందువల్ల దీనిలో ఉన్న C కి గానీ, H కి గానీ నీటి కణంలో ఉన్న H తో గానీ O తో గానీ ఉదజని బంధం ఏర్పడే అవకాశం లేదు. ఇలాంటి నీటిని ఇష్టపడని అణువులు నీటికి దూరంగా, తమలాంటి అణువులకు దగ్గరగా ఉండటానికి ఇష్టపడతాయి. నూనె, నీరు కలవవు కదా, దానికి కారణం ఈ నీటి భయమే! ఇవికాక రెండు గంధకం మూలకాల మధ్య ఏర్పడే సహబంధాన్ని **డైసల్ఫైడు బంధం** అంటారు. ఈ బంధాలు మూడవ బొమ్మలో చూపించబడినాయి.

## ప్రాటీను రూపం

ఇక, మనం ఇంతవరకూ చెప్పుకున్న బంధాలకూ ఒక ప్రాటీనుకు ఉండే రూపానికి మధ్య సంబంధం ఏమిటో చూద్దాం. ప్రాటీను అంటే **ఎమినో ఆమ్లాలు** (amino acids) వరుసగా కలిసి ఏర్పడే పొడవైన గొలుసు (ఇలా  $-O-O-O-O-O-$  చూపించే ఆనవాయితీ ఉంది). ఇరవై రకాల ఎమినో ఆమ్లాలనుండి ప్రాటీన్లు తయారవుతాయి. మన శరీరంలో దాదాపుగా 80,000 రకాలకు పైగా ప్రాటీన్లు ఉన్నాయి. అన్ని ఉన్నాయా అని ఆశ్చర్యపడాల్సిన అవసరం లేదు. ఎందుకంటే ఐదు ఎమినో ఆమ్లాలతో తయారయ్యే గొలుసుని తీసుకుని, ఐదు స్థానాల **ప్రస్థానాన్ని** (permutation) లెక్కవేస్తే, అవి  $20 \times 20 \times 20 \times 20 \times 20 = 3,200,000$  రకాల వరుసల్లో ఉండవచ్చు. అంటే అన్ని రకాల విశిష్టమైన ప్రాటీన్లు తయారు కాగలిగే అవకాశం ఉంది. కొన్ని ప్రాటీన్లలో వందలకొద్దీ ఎమినో ఆమ్లాలు ఉంటాయి. ఎన్ని రకాల ప్రాటీన్లు తయారీకి అవకాశం ఉందో ఊహించండి! కానీ అన్నీ తయారు కావు, జీవపరిణామ క్రమంలో కొన్ని మాత్రమే తయారవుతాయి. ఇక ప్రతి ప్రాటీనూ మొదట తయారైనప్పుడు ఒక గొలుసులాగా పొడవుగా ఉంటుంది. కానీ చాలా ప్రాటీన్ల విషయంలో వాటి క్రియా శీలక రూపం, అంటే అవి శరీరంలో పనిచేయడానికి సిద్ధంగా ఉన్నప్పటి రూపం, బంతిలాగా ఉంటుంది. గొలుసులు బంతులెలా అవుతాయి? మనం పైన చెప్పుకున్న బంధాలే దానికి కారణం.



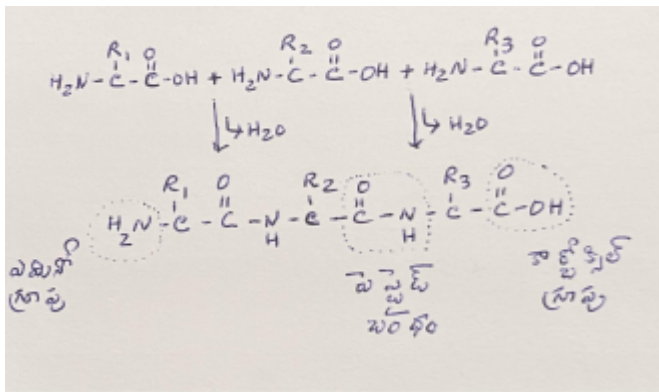
3వ బొమ్మ: పలు రకాల రసాయనిక బంధాలు

ప్రాటీన్లను తయారుచేసే ఎమినో ఆమ్లాల రూపం చూద్దాం. వీటికి ఒక వైపు ఎమినో గ్రూపు ఉంటుంది, మరో వైపు **కార్బోక్సీలు** (carboxyl) గ్రూపు ఉంటుంది. మొదటి ఆమ్లం యొక్క కార్బోక్సీలు గ్రూపు రెండో ఆమ్లం యొక్క ఎమినో గ్రూపు మధ్య జరిగే రసాయనిక ప్రక్రియ ద్వారా రెండు ఆమ్లాలూ ముడిపడతాయి. దీన్ని **పెప్టైడు బంధం** (peptide bond) అంటారు. ఈ బంధం ఏర్పడిన ప్రతి చోటా ఒక నీటి అణువు ( $H_2O$ ) కూడా తయారవుతుంది.

వంద ఎమినో ఆమ్లాల ద్వారా ఒక ప్రోటీను తయారయిందంటే, 99 పెప్టైడు బంధాలు ఏర్పడాలి. అలా తయారైన ప్రోటీనులో మొదటి ఆమ్లం మీద ఒక ఎమినో గ్రూపు, చివరి ఆమ్లం మీద ఒక కార్బోక్సిలు గ్రూపు మిగిలి ఉంటాయి. ఇవేకాక కొన్ని ఆమ్లాలమీద మనం R అని చూపించిన భాగంలో (తోకలో) కొన్ని -OH, -SH, -C(=O)-OH, -NH<sub>2</sub>, -NH- గ్రూపులూ ఉంటాయి<sup>2</sup>. ప్రోటీన్ల గోళాకారానికి కారణం ఈ గ్రూపుల మధ్య మనం పైన చెప్పుకున్న బంధాలే! ప్రోటీను గొలుసులో మడతలు పడటానికి ఈ బంధాలు ఎలా సహకరిస్తాయో ఈ బొమ్మలో మరోసారి చూడండి. కణ ద్రవ్యం నీటి ఆధారమైనది కాబట్టి, దానిలో ఉండే ప్రోటీన్లలో నీటిభయం గ్రూపులూ, వాటి మధ్య ఏర్పడిన బంధాలూ నీటికి దూరంగా గోళాకారం లోపల ఉంటాయి. ఉదాహరణ, ఆయాను బంధాలను నిర్మించగల గ్రూపులూ, వాటి మధ్య ఏర్పడిన బంధాలూ గోళాకారం ఉపరితలంలో కణ ద్రవ్యం వైపు ఉంటాయి. బంధాలు ఏర్పడకుండా ఖాళీగా ఉన్న గ్రూపులు తగిన బంధాలను నీటితో ఏర్పరచుకుంటాయి. ఏదైనా సరైన బంధం ఏర్పరచుకోగల పదార్థం ఎదురైతే నీటిని వదిలేసి, ఆ పదార్థంతో బంధాన్ని ఏర్పరచుకుంటాయి.

మొదట తయారైనప్పుడు ఒక గొలుసులాగా ఉండే ప్రోటీను మనం చెప్పుకున్న బంధాల ద్వారా గోళాకారానికి వస్తుంది. అయితే అలాంటి గోళాకారాలు ఎన్నో తయారు కావచ్చు. (మనం ఒక కాగితాన్ని ఎన్నో విధాలుగా నలిపి ఉండలాగా చెయ్యగలం కదా) కానీ వాటిలో ఒక్కటి మాత్రమే ఆ ప్రోటీను చెయ్యవలసిన పనికి తగిన రూపం. ఆ రూపం ఏర్పడితేనే ఆ ప్రోటీను కణంలో తన పని చెయ్యగలదు<sup>3</sup>.

లేకపోతే, కణం ఆ పనికిరాని ప్రోటీనును విరగొట్టి, ఎమినో ఆమ్లాలను విడదీసి ముడిసరుగ్గా వాడుకుంటుంది (recycle). కొన్ని వేల రకాల రూపాలలో పనికొచ్చే ఒక్క రూపమే ఎలా తయారవుతుంది? ఒక ప్రోటీను యొక్క ఎమినో ఆమ్లాల వరుసలోనే దాని తుది రూపానికి అవసరమైన మడతలు నిక్షిప్తమై ఉన్నాయని అంటారు శాస్త్రవేత్తలు. కొన్ని ప్రోటీన్ల విషయానికొస్తే, ఒక్క తుది రూపం కాకుండా, పనికొచ్చే రెండు తుది రూపాలు ఉంటాయి.



4వ బొమ్మ: పెప్ టైడ్ బంధాల ఏర్పాటు

ఒక్కోసారి పనికి తగిన రూపం ఏర్పడటానికి ఒక ప్రోటీన్లో ఒకేఒక గొలుసుకాక, రెండు, మూడు, నాలుగు లేక ఇంకా ఎక్కువ గొలుసులు (polypeptides)<sup>4</sup> కలిసి ఒక ప్రోటీను ఏర్పడుతుంది. వాటి మధ్య మనం ఇదివరకు చెప్పుకున్న బంధాలు ఏర్పడి పనికొచ్చే ప్రోటీను ఏర్పడుతుంది.

ఇక్కడకూడా చాలా ప్రోటీన్ల విషయంలో కొన్నివేల రూపాలు ఏర్పడే అవకాశం ఉన్నా పనికొచ్చే తుది రూపం ఒక్కటే ఉంటుంది. కొన్ని ప్రోటీన్ల విషయంలో రెండు రూపాలు ఉంటాయి.

<sup>2</sup> వంద కోతులు ఒకదాని చెయ్యి ఒకటి పట్టుకుని నిలబడ్డాయనుకుందాం. అవి అటువైపు చూస్తున్నాయి. మనం వాటి వెనుక ఉన్నాం. ఎడమవైపు ఉన్న చివరి కోతికి ఎడమ చేయి, కుడివైపు ఉన్న చివరి కోతికి కుడి చేయి ఖాళీగా ఉంటాయి కదా అలాగే. [కోతుల విషయంలో రెండు చేతులు ఒకే రకంగా ఉంటాయి. ప్రోటీను గొలుసును తయారుచేసే ఎమినో ఆమ్లాల విషయంలో ఎడమవైపు చేతిని ఎమినో గ్రూపు అనీ, కుడివైపు చేతిని కార్బోక్సిలు గ్రూపు అనీ అంటారు.] పైగా ఒక్కోకోతికి ఒక్కో విశిష్టమైన తోక ఉండనుకుందాం. మనం ప్రోటీను గొలుసులో R భాగం అంటున్నామే అది ప్రతి ఎమినో ఆమ్లంలో విశిష్టంగా ఉంటుంది, కోతుల తోకలు వేరు వేరుగా ఉన్నట్లు. ఈ ఎమినో ఆమ్లాల తోకలను **పక్క గొలుసులు** (side chains) అంటారు.

<sup>3</sup> కణంలో ప్రోటీన్లు చాలాపనులు చేస్తాయి: **ఉత్ప్రేరకాలుగా** (catalysts), **రూపాన్నిచ్చేవిగా** (structural proteins), **ఆత్మరక్షణ** కల్పించేవిగా (immunoglobulins), **రవాణాదారులుగా** (transporters) ఇలా ఎన్నోరకాల పనులు చేస్తాయి.

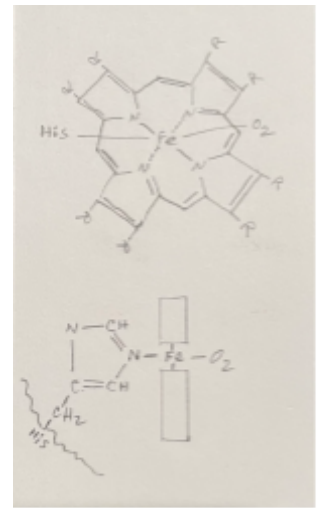
<sup>4</sup> ప్రోటీను అని ఎప్పుడంటారు? పాలిపెప్టైడు అని ఎప్పుడంటారు? నిజానికి ఒక నిర్దిష్టమైన కొలత అంటూ లేదు. యాభై కంటే తక్కువ ఎమినో ఆమ్లాల నుండి తయారైనదాన్ని పాలిపెప్టైడు అనీ, ఇంకా పెద్దదైతే ప్రోటీను అని రాయడం మామూలు. గొలుసులాగా ఉన్న దాన్ని పాలిపెప్టైడు అనీ, పనికొచ్చే తుదిరూపంలో ఉన్న దాన్ని ప్రోటీను అనీ అనడం కూడా ఒక మామూలు.



## హీమోగ్లోబిను

ఈ నేపథ్యంతో మనం అసలు మాట్లాడుకోవాల్సిన ప్రోటీను గురించి చెప్పుకుందాం. మన శరీరంలో రక్తంలో ప్రవహిస్తూ ప్రతి కణానికి ప్రాణవాయువుని (ప్రా.వా.,  $O_2$ ) అందించేవి ఎర్ర కణాలు. శరీర కణాల్లో దాదాపు 80 శాతానికి పైగా ఉండే ఈ కణాల్లో హీమోగ్లోబిను (hemoglobin) అనే ప్రోటీను ఉంటుంది. ప్రతి ఎర్ర కణంలో దాదాపు 270 మిలియన్ల (27 కోట్ల) హీమోగ్లోబిను అణువులు ఉంటాయి. కణంలో ప్రా.వా. ను మోసుకొచ్చేది ఈ హీమోగ్లోబినే. రక్తం ఊపిరితిత్తులకు చేరుకున్నప్పుడు హీమోగ్లోబిను ప్రా.వా. ను పట్టుకుంటుంది. అక్కడనుంచి రక్తంలో శరీరవ్యాప్తంగా ప్రవహిస్తూ అన్ని అవయవాలకు చేరుతూ, ప్రతికణానికి ప్రా.వా. ను అందజేస్తుంది. నిజానికి విరామంగా ఉన్న కండరాలకు తక్కువగా, వ్యాయామం చేస్తున్న కండరాలకు ఎక్కువగా అందజేస్తుంది. ఇక హీమోగ్లోబిను అవయవాల కణాల్లోనుండి **బొగ్గుపులుసు వాయువు** లేదా కురచగా **బొ.వా.** (carbon dioxide) ను తీసుకుని మళ్ళా ఊపిరితిత్తులకు చేరుతుంది. అక్కడ దాన్ని వదిలేసి, ప్రా.వా. ను తీసుకుంటుంది. ఇది క్లుప్తంగా హీమోగ్లోబిను చేసే పని. మరి ప్రా.వా. ను అవసరమైన చోట వదిలెయ్యాలని హీమోగ్లోబినుకు ఎలా తెలుసు?

హీమోగ్లోబినులో నాలుగు పోలిపెప్టైడు గొలుసులు ఉంటాయి: రెండు  $\alpha$  రకాలు (alpha), రెండు  $\beta$  రకాలు (beta). ఏ లో 141 ఎమినో ఆమ్లాలు, బీ లో 146 ఎమినో ఆమ్లాలు ఉంటాయి. ఈ నాలుగు పోలిపెప్టైడు గొలుసులూ మనం ఇదివరకు చెప్పుకున్న ఉదజని, అయాను, నీటిభయం బంధాల ద్వారా జతపడి ఉంటాయి. ప్రోటీన్లు చాలారకాల పనులు చేస్తాయని మనం ఇదివరకే చెప్పుకున్నాం, కానీ ఎమినో ఆమ్లాలద్వారా తయారయిన గొలుసులు వాటంతట అవే చాలా పనులు చెయ్యలేవు. కొన్ని ప్రోటీన్లకు నేరుగా అతుక్కున్న లోహపు అయాన్లు సహకరిస్తాయి, మరి కొన్ని చోట్ల లోహపు అయాను ఉన్న పదార్థం ఒకటి ప్రోటీనుకు సహకరిస్తుంది. కొన్ని చోట్ల లోహపు అయాను లేని పదార్థాలు ప్రోటీన్లకు అతుక్కుని సహకరిస్తాయి. బాగా బలంగా, ఒక్కసారి సహబంధం ద్వారా అతుక్కున్న పదార్థాన్ని ప్రాస్తెటికు గ్రూపు (prosthetic group) అనీ, ఇతర బంధాల ద్వారా అతుక్కున్న సమూహాన్ని **సహకారకం** (cofactor, తోడ్పడే పదార్థం లేక **తోడ్పరి**) అనీ అంటారు. తోడ్పడే పదార్థాల్లో ముఖ్యమైనవి వైటమిన్లు, లేక వాటినుండి తయారయిన పదార్థాలు. హీమోగ్లోబిను విషయానికొస్తే, దానికి ఇనుము అయాను అవసరం. ఆ ఇనుము అయాను **హీము** (heme) అనే పదార్థంలో ఉంటుంది. ఒక్కో హీమోగ్లోబిను గొలుసులో ఒక్క హీము ఉంటుంది. అంటే హీమోగ్లోబినులో మొత్తం నాలుగు హీములు ఉంటాయి. ప్రతి గొలుసులోనూ, ఈ హీము **హిస్టిడిను** (histidine) అనే ఎమినో ఆమ్లానికి సహబంధం ద్వారా స్థిరంగా అతుక్కుని ఉంటుంది. అంటే ఇదొక ప్రాస్తెటిక్ సమూహం అన్న మాట.



5వ బొమ్మ: హీమోగ్లోబిన్ లోని ఒక హీమును పైనుంచి చూస్తే పైబొమ్మ, పక్కనుంచి చూస్తే కింది బొమ్మ

అలా ఏర్పడిన హీమోగ్లోబిను రెండు రూపాల మధ్య **సమతుల్యం** (equilibrium) లో ఉంటుంది. ఆ రెండు రూపాలను రెండు స్థితులు అనవచ్చు. వాటిని T స్థితి, R స్థితి అంటారు. T అంటే tense, బిగుతుగా ఉన్న రూపం. దీనిలో నాలుగు గొలుసుల మధ్య చాలా అయాను బంధాలు ఉంటాయి. ప్రా. వా. మీద బిగుతి స్థితికి పెద్దగా ఆకర్షణ లేదు. R అంటే relaxed, సడలిన, వదులుగా ఉన్న రూపం. బిగుతి స్థితి లో ఉండే అయాను బంధాలు దీనిలో ఉండవు. దీనికి ప్రా. వా. మీద బిగుతి స్థితి కంటే దాదాపు 25 రెట్లు ఎక్కువ ఆకర్షణ ఉంటుంది.

ప్రా.వా. లేని చోట హీమోగ్లోబినును చూస్తే, అది ఎక్కువగా బిగుతు స్థితిలో ఉంటుంది. ప్రతి పదివేల బిగుతు అణువులకు ఒక్క వదులు స్థితిలో ఉన్న అణువు మాత్రమే ఉంటుంది. బిగుతు అణువులకూ ప్రా.వా. కూ మధ్య పెద్దగా ఆకర్షణ లేదు. గాలిలో దాదాపు 21% ప్రా.వా. ఉంటుంది. అంటే దాదాపు 160 మిమీటర్ల ఒత్తిడి (mm Hg). గాలి ఊపిరి తిత్తుల్లోకి వచ్చేసరికి, నీటి తేమ కలవడం వలన అది 100 మిమీ లకు పడిపోతుంది. రక్త నాణాల్లో ప్రవహిస్తూ ఊపిరితిత్తుల్లోకి చేరిన హీమోగ్లోబిను బిగుతు అణువులు ప్రా.వా. ను పట్టుకుంటాయి. అది ఇదివరకు మనం చెప్పుకున్న హీములో ఉన్న ఇనుము అయాన్లకు అతుక్కుంటుంది. కానీ బిగుతు అణువులకూ ప్రా.వా. కూ మధ్య పెద్దగా ఆకర్షణ లేకపోవడం వలన చాలా కొద్ది అణువులు మాత్రమే ప్రా.వా. ను తీసుకుంటాయి. మిగతావి అలాగే

ఖాళీగా రక్తంలో తిరుగుతూ ఉండాలిందే. కానీ నిజానికి అలా జరగదు. దాదాపుగా ప్రతి హీమోగ్లోబిను అణువు ప్రా.వా. ను పట్టుకుంటుంది. ఎలా?

ఫ్రాన్స్ శాస్త్రవేత్తలు మోనో, వైమన్, షాంజ (Monod, Wyman, Changeux, MWC) ఒక ప్రతిపాదన చేశారు. ఒక బిగుతు రూపానికి ఉన్న నాలుగులో ఏ హీము మీదైనా ప్రా.వా. అతుక్కుగానే హీమోగ్లోబిను మొత్తం వదులు రూపంగా మారుతుంది. అంటే, సమతులనం వదులు వైపు మొగ్గు చూపుతుంది. హీములున్న నాలుగు చోట్లా ప్రా.వా. మీద ఆకర్షణ పెరుగుతుంది. దీన్ని **all or none model** అంటారు. అంటే అణువు అంతా బిగుతు స్థితి లో ఉండాలి లేక వదులు స్థితి లో ఉండాలి. మధ్యస్థంగా ఉండటానికి వీలులేదు.

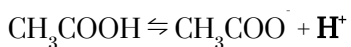
అదీ MWC వారి ప్రతిపాదన. సమతుల్యంలో మార్పు రావడం, దానికి తోడు ఈ all or none కారణం వలన, ఊపిరి తిత్తులకు చేరిన ప్రతి హీమోగ్లోబిను అణువు వేగంగా బిగుతు నుండి వదులుకు మారుతుంది. వదులు కి ప్రా.వా. మీద ఆకర్షణ ఎక్కువ కాబట్టి, త్వరలో దాదాపు ప్రతి అణువు (98 శాతం, ఆరవ బొమ్మలో నారింజ రంగు గీత) ప్రా.వా. తో నిండిపోతుంది. అవి ఊపిరితిత్తులనుండి శరీరావయాలకు చేరుతాయి. ఇక అంత గట్టిగా పట్టుకున్న ప్రా. వా. ను అవయవ కణాలకు చేరినప్పుడు ఎందుకు వదిలేస్తాయో చూద్దాం.

## శరీర కణాల్లో ప్రాణవాయువు విడుదల

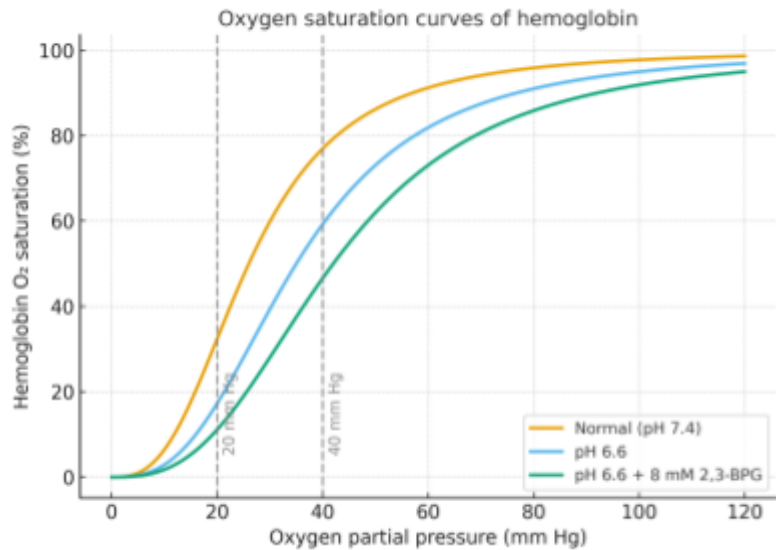
ఐదవ బొమ్మను మరోసారి చూడండి. అందులో రెండు నిలువు గీతలున్నాయి ఒకటి 40 మిమీ దగ్గర, మరొకటి 20 మిమీ దగ్గర. మామూలుగా విశ్రాంతిగా ఉన్న కండరాల్లో ప్రా. వా. ఒత్తిడి 40 మిమీ ఉంటుంది. వ్యాయామం చేస్తున్న కండరాల్లో 20 మిమీ వరకు పడిపోతుంది. ఆ రెండు గీతల వద్ద ఎంత శాతం హీమోగ్లోబిను మీద ప్రా. వా. ఉంటుందో గమనించండి. అది దాదాపుగా 75% (40 మిమీ), 35% (20 మిమీ) ఉంటుంది. అంటే ఊపిరితిత్తులనుండి వచ్చేటప్పుడు 98% హీమోగ్లోబినులమీద ప్రా. వా. ఉంటే కండరాలకు చేరగానే 75% మీదనే ఉంటుంది. అంటే మిగతా 23% (98-75=23) ప్రా. వా. ను విడిచి పెడతాయి. గట్టిగా పనిచేస్తున్న కండరాలకు చేరినప్పుడు దాదాపు 63% (98-35=63) ప్రా. వా. ను వదిలేస్తాయి. అంటే ఉన్న చోట తీసుకుని, లేనిచోట ఇస్తుంది హీమోగ్లోబిను. ప్రా. వా. కండరాలకు చేరడానికి ముఖ్యమైన కారణం ఊపిరితిత్తుల్లో, కండరాల్లో దాని ఒత్తిడిలో ఉన్న తేడానే. మిగతా శరీర అవయవాలకు కూడా ఇదే వర్తిస్తుంది.

## ఆమ్లత

మరో కారణం అయాను బంధాలు. వీటి గురించి మనం ఇంతకు ముందే మాట్లాడుకున్నాంగాని అవి ఎందుకు ఎలా ఏర్పడతాయో చూడలేదు. అది తెలుసుకోవాలంటే ఆమ్లాల గురించి కొంచెం లోతైన వివరణ అవసరం. ఆమ్లం అంటే  $H^+$  ని విడుదల చేసేది అని అర్థం. ఉదాహరణకు వినెగర్ ఆమ్లం:



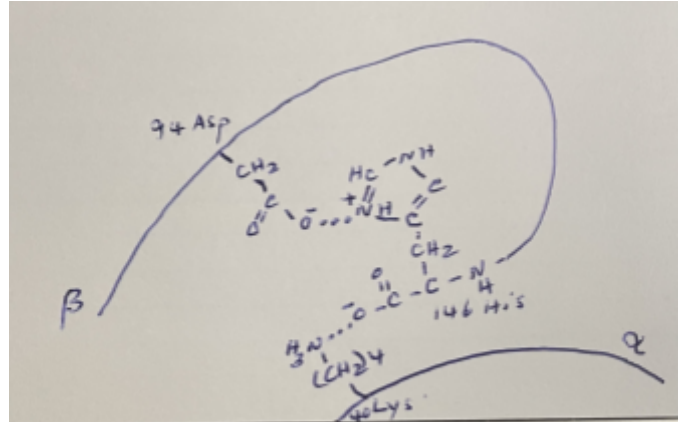
( $H^+$  అంటే  $H$  మీద పాజిటివ్ చార్జి ఉన్నది అని)



6వ బొమ్మ: పలు పరిస్థితులలో ప్రాణ వాయువుతో నిండిపోయే హీమోగ్లోబిన్ (chatGPT)

మన శరీర కణాల్లో గ్లూకోజు నుండి శక్తిని బయటకు తీసే క్రమంలో పైరూవిక్, లాక్టిక్, సిట్రిక్, ఇంకా ఇతర ఆమ్లాలు తయారవుతాయి. వీటి వలన కణాల్లో **ఆమ్లత** (acidity) పెరగవచ్చు. అయితే ఇవి నిలువ ఉండవు. వీటిని వేగంగా బొగ్గుపులుసు వాయువుగా, నీరుగా మార్చి, ఆ క్రమంలో వీటిలోని శక్తిని బయటకు తీసి వాడుకుంటుంది కణం. ఎంత వేగంగా వాడినా గట్టిగా పనిచేస్తున్న కండరంలో ఏ క్షణంలోనైనా ఎంతో కొంతైనా ఈ ఆమ్లాలు ఉండక తప్పదు. అందువల్ల ఎంతో కొంత ఆమ్లత, అంటే  $H^+$  సాంద్రత ఉండక తప్పదు. ఆమ్లత పరిమాణానికి pH అనే కొలతను వాడతారు. ఆమ్లత పెరిగే కొద్దీ pH తగ్గుతుంది. మన శరీర కణాలలో pH దాదాపుగా 7.4 ఉంటుంది. విరామంలో ఉన్న కండరాల్లో 7.0 దాకా, గట్టిగా పనిచేస్తున్న కండరాల్లో 6.6 దాకా పడిపోవచ్చు. ఆమ్లత పెరిగే కొద్దీ హీమోగ్లోబిను ప్రా.వా.ను విడుదల చేయడం పెరుగుతుంది. దీన్ని మనం ఇదివరకు చూసిన బొమ్మలో చూడవచ్చు (ఆకాశం రంగు గీత). దీనికి కారణం ఇప్పుడు చూద్దాం.

ఏ ప్రోటీనులోనైనా కుడి చివరి ఆమ్లంలో ఉండే కార్బోక్సిలు గ్రూపు ( $-C(=O)-O^-$ ) మీద నెగటివు చార్జి ఉంటుంది. అంతే గాక అస్పార్టిక్, గ్లూటామిక్ అనే ఆమ్లాల మీద పక్క గొలుసుల్లో ఒక కార్బోక్సిలు గ్రూపు ఉంటుంది. వాటిమీద నెగటివు చార్జి ఉంటుంది. ఇక **ఆర్జినిను** (arginine), **లైసిను** (lysine) అనే ఆమ్లాల పక్క గొలుసులమీద ఎమినో గ్రూపు ఉంటుంది. దానిమీద పాజిటివు చార్జి ఉంటుంది. ఇలా పాజిటివు, నెగటివు చార్జీలు ఉన్న గ్రూపులు ఒకదానికొకటి దగ్గరకు వస్తే వాటి మధ్య ఆయాను బంధం ఏర్పడుతుంది. ప్రోటీను గొలుసులలో అక్కడక్కడా **హిస్టిడిను** (Histidine) అనే ఎమినో ఆమ్లం ఉంటుంది. హీమోగ్లోబినులో ఉండే రెండు బీ. గొలుసులలో ఇది చివరి ఆమ్లం (His146)<sup>6</sup>. దీనితో ప్రత్యేకత ఏంటంటే దీని పక్క గొలుసులో ఉన్న N మీద మామూలుగా కణాల్లో ఉండే ఆమ్లతలో (7.4) చార్జి ఉండదు. కానీ కండరాలలో ఉండే ఆమ్లతలో N మీద  $H^+$  చేరుతుంది, అందువల్ల పాజిటివు చార్జి వస్తుంది. అప్పుడు ఇది దగ్గరలో ఉన్న నెగటివు చార్జితో ఆయాను బంధం ఏర్పరచుకోగలదు.



7వ బొమ్మ: హీమోగ్లోబిన్ గొలుసుల మధ్యన ఉన్న ఆయాను బంధాలు ప్రాణవాయువు చేరికతో విడిపోతాయి

శరీరంలో ఏ అవయవానికి చేరినా హీమోగ్లోబిను కొంత ప్రా. వా.ను వదులుతుంది (ఒత్తిడి తేడాల కారణంగా). కానీ గట్టిగా పనిచేస్తున్న కండరాలకు చేరినప్పుడు రక్తనాళాలలో ఆమ్లత పెరగటం వల్ల (pH తగ్గడం వల్ల) ప్రా. వా.ను వదిలిన హీమోగ్లోబినులోని బీ. గొలుసుల చివర ఉన్న హిస్టిడిను  $H^+$  ను పట్టుకుని పాజిటివు చార్జిని ఆకట్టుకుంటుంది. అదే గొలుసుమీద ఉన్న ఆస్పార్టిక్ ఆమ్లం (Asp 94) మీద ఉన్న నెగటివు చార్జితో ఆయాను బంధం ఏర్పరచుకుంటుంది. దీనితో ఆ బీ గొలుసులో కొంత వంపు వస్తుంది. దానివల్ల అదే హిస్టిడిను మీద ఉన్న నెగటివు కార్బోక్సిలు గ్రూపు, ఏ. గొలుసు మీద ఉన్న లైసిను (Lys 40) యొక్క పక్క గొలుసు మీద ఉన్న ఎమినో గ్రూపు పాజిటివు చార్జికి దగ్గరై, మరొక ఆయాను బంధాన్ని ఏర్పరచుకుంటుంది. దీనితో (ఇంకా ఇలాంటి మార్పులు మరికొన్ని రావడం వల్ల) ఖాళీగా ఉన్న హీమోగ్లోబిను వదులు స్థితినుండి బిగుతు స్థితికి మారుతుంది. అంటే దానికి ఇప్పుడు ప్రా. వా. మీద ఆకర్షణ తగ్గిపోతుంది. అంటే మనం ఇదివరకు చెప్పుకున్నామే బిగుతు కీ వదులు కీ మధ్య సమతులనం ఉంటుందని, అది ఊపిరితిత్తులలో వదులు వైపు మొగ్గుతుందనీ, ప్రా. వా.ను పట్టుకోవడానికి ఉపకరిస్తుందనీ. అదే సమతులనం ఇప్పుడు బిగుతు వైపు మొగ్గుతుంది. ప్రా. వా.ను విడిచిపెట్టడానికి సహకరిస్తుంది.

జాగ్రత్తగా గమనించాల్సింది ఏంటంటే, హీమోగ్లోబినులో ప్రా. వా. ఉండేది హీము మీద. ఆ హీము ఏ. గొలుసుల్లో 87 వ ఎమినో ఆమ్లానికీ, బీ. గొలుసుల్లో 92 వ ఎమినో ఆమ్లానికీ అతుక్కుని ఉంటుంది. బీ. గొలుసుల చివర ఉన్న హిస్టిడిను (146 వ ఎమినో ఆమ్లం)

<sup>5</sup> సాంద్రత = Density, దీన్ని  $grams/cm^3$  గా కొలుస్తారు; సాంద్రత = Concentration, దీన్ని మోల్స్/లీటర్ (M) గా, లేక మిల్లిమోల్స్/లీటర్ (mM) గా కొలుస్తారు.

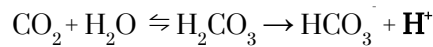
<sup>6</sup> ఈ గొలుసులో మొత్తం 146 ఎమినో ఆమ్లాలు ఉన్నాయి.

ఎత్తు	ప్రా. వా. ను పట్టుకున్న హీమోగ్లోబిను శాతం	కండరాల్లో ప్రా. వా. విడుదల శాతం
సముద్రమట్టం	98	45
ఒకేసారి 5,000 అడుగులు	80	25
క్రమంగా 5,000 అడుగులు	70	40

రెండింటికీ దూరంగా ఉంది. అయినా దానికి  $H^+$  చేరడం వల్ల అది పరోక్షంగా హీమోగ్లోబినుకు ప్రా. వా. మీద ఉన్న ఆకరణను తగించి దాని విడుదలకు సహకరిస్తుంది. దీన్నే మోనో ఎల్లోస్టిరిక్ నియంత్రణ అన్నది. ప్రొటీను మీద ఒక చోట జరిగే మార్పు దాని మీద మరోచోట పరోక్షంగా ప్రభావం చూపడం. ఆవ్లతలో మార్పు వల్ల జరిగే ఈ మార్పును (ప్రభావాన్ని) బోర్ (Bohr) ప్రభావం అని కూడా అంటారు, డెన్మార్క్ దేశస్థుడు క్రిస్టియాన్ బోర్ దీన్ని మొదట గమనించాడు. ఆయన నీల్స్ బోర్ తండ్రి.

కణాల్లో ఆవ్లత పెరగడానికి కారణం గ్లూకోజు నుండి తయారయ్యే ఆమ్లాలేకాదు. బొగ్గుపులుసు వాయువు ( $CO_2$ ) కూడా దీనికి కొంత కారణం అని చెప్పుకోవాలి. ఎందుకంటే గట్టిగా పనిచేస్తున్న అవయవాల్లో గ్లూకోజు

వాడుక పెరుగుతుంది. దాన్నుంచి బొగ్గుపులువాయువు ఏర్పడుతుంది. అది నీటితో కలిసినప్పుడు, కార్బోనిక్ ఏన్హైడ్రేజు (Carbonic Anhydrase) అనే ఎంజైము ద్వారా కార్బోనిక్ ఆమ్లం తయారవుతుంది. అయితే శరీరంలో కార్బోనిక్ ఆమ్లం స్థిరంగా ఉండదు. వెంటనే  $H^+$  ను వదిలేస్తుంది.



ఇలా విడుదల అయిన  $H^+$  కూడా ఆవ్లత పెరగడానికి కారణం అవుతుంది, హీమోగ్లోబిను మీదున్న హిస్టిడినుకు అతుక్కుని సమతులనం బిగుతు స్థితి వైపు మొగ్గేలా చేస్తుంది, అంటే ప్రా. వా. విడుదలకు సహకరిస్తుంది.

### 2,3-బీపీజీ (2,3-BPG, 2,3-Bisphosphoglycerate)

హీమోగ్లోబిను మీద ఎల్లోస్టిరిక్ ప్రభావం ఉండటానికి ఆమ్లతే కాదు, మరో కారణంగా కూడా ఉంది. ఎర్ర కణాలలో గ్లూకోజు నుండి పైరూవిక్ లేదా లాక్టిక్ ఆమ్లం తయారయ్యే క్రమంలో 2,3-బీపీజీ (ఇకనుండి బీపీజీ) అనే ఒక అణువు కూడా కొంత తయారవుతుంది. మామూలుగా ఎర్ర కణాల్లో దీని సాంద్రణ దాదాపుగా 5 mM ఉంటుంది. ఈ బీపీజీ ప్రత్యేకత ఏంటంటే దీని మీద ఐదు నెగేటివ్ చార్జీలు ఉంటాయి. ఇది బిగుతు స్థితిలో ఉన్న హీమోగ్లోబిను బీ గొలుసుల మధ్య ఉన్న ఒక చోట (ఒక చిన్న సొరంగం లాంటి చోట) అక్కడి ఎమిన్ ఆమ్లాల పక్క గొలుసుల మీద ఉన్న పాజిటివ్ చార్జీలతో ఆయాను బంధాలు ఏర్పరచుకుంటుంది<sup>7</sup>. మనం మొదట చెప్పుకున్నామే, ప్రొటీను ఒక పదార్థానికి అతుక్కోవడానికి రెండింటి మధ్య తగిన రూపం ఉండాలనీ, వాటి మధ్య రసాయనిక బంధాలు ఏర్పడాలనీ. హీమోగ్లోబిను, బీపీజీ ల మధ్య బంధం ఏర్పడటం దీనికి చక్కటి ఉదాహరణ. వీటి మధ్య బంధం ఏర్పడినప్పుడు బిగుతు స్థితి స్థిరపడుతుంది. దానివల్ల ఇంతకు ముందు మనం చెప్పుకున్న సమతులనం బిగుతు వైపు మొగ్గుతుంది. అంటే, పరోక్షంగా హీమోగ్లోబిను నుంచి ప్రా. వా. విడుదలకు సహకరిస్తుంది. దీన్ని మనం ఇదివరకు చూసిన బొమ్మలో ఆకుపచ్చ రంగు గీతలో చూడవచ్చు. ఇది మరో ఎల్లోస్టిరిక్ ప్రభావం.

<sup>7</sup> ప్రా. వా. ను పట్టుకుని R స్థితిలోకి మారిన హీమోగ్లోబినులో రెండు బీ గొలుసుల మధ్య ఉన్న చోటు (సొరంగం) తగ్గి పోతుంది. అక్కడ 2,3-బీపీజీ పట్టుదు.



[ **పిట్ట కథ:** పర్వతాలు ఎక్కివాళ్ళు ఒకేసారి కాకుండా చాలా రోజులు తీసుకుంటారనీ, క్రమంగా పైకి ఎక్కుతారనీ వినే ఉంటారు. అలా కాకుండా హెలికాప్టరు ఎక్కి పర్వత శిఖరాన దిగితే గాలి పీల్చడానికి ఇబ్బందిపడతారు. శిఖరం ఎత్తునుబట్టి, గాలిచాలక చనిపోవచ్చు కూడా. 5,000-6,000 అడుగుల ఎత్తు ఉన్న శిఖరం మీద ప్రా.వా. ఒత్తిడి 100 మిమీ నుండి 50 మిమీ లకు పడిపోవచ్చు. ఆ స్థితిలో హీమోగ్లోబిను తక్కువ ప్రా. వా. ను పట్టుకుంటుంది. అంటే శరీరకణాలకు తక్కువ ప్రా. వా. అందుతుంది. పర్వతం ఎక్కడానికి కొన్ని రోజులు తీసుకునే వారి శరీరంలో నిదానంగా మార్పులు జరుగుతాయి. వాటిలో ఒకటి ఎర్రకణాల్లో బీపీజీ సాంద్రణ 5 mM నుండి దాదాపు 8 mM దాకా పెరగడం. దాని ప్రభావం వల్ల హీమోగ్లోబిను మీద ఉన్న ప్రా. వా. మామూలు కంటే ఎక్కువగా విడుదల అవుతుంది.

ఉదాహరణకు, సముద్రమట్టాన ఉన్న ప్రదేశంలో 98% హీమోగ్లోబిను అణువులు ప్రా వా ను మోసుకొస్తే, వాటిలో విశ్రాంతిగా ఉన్న కండరాలకు చేరినప్పుడు (40 మిమీ) 45% దాన్ని విడుదల చేస్తాయి. కానీ 5,000 అడుగుల ఎత్తున ఉన్న ప్రదేశంలో గాలి తక్కువగా ఉండి 80% హీమోగ్లోబినుల మీద మాత్రమే ప్రా. వా. ఉంటుంది. అవి కండరాలకు చేరినప్పుడు 25% మాత్రమే దాన్ని వదిలేస్తాయి. 5,000 అడుగులు చేరడానికి కొన్ని రోజులు తీసుకున్న వారిలో బీపీజీ పెరగడం వల్ల హీమోగ్లోబిను ప్రాణవాయువును పట్టుకోవడం తగ్గి, 70% మాత్రమే దాన్ని పట్టుకోగలుగుతాయి, కానీ అవి కండరాలకు చేరినప్పుడు, మళ్ళా బీపీజీ ప్రభావం వల్ల వాటిలో 40% దాన్ని విడుదల చేస్తాయి. అంటే కండరాలకు దాదాపుగా సముద్రమట్టాన అందేటంత ప్రా. వా. ఇక్కడకూడా అందుతుంది. ఈ ఒక్క మార్పు కాకుండా గాలి తక్కువగా ఉన్న చోటికి చేరినప్పుడు శరీరం ఎర్రకణాల ఉత్పత్తిని పెంచుతుంది. అంటే ఎక్కువ హీమోగ్లోబినును పనిలో పెడుతుంది. అందువల్ల ఎత్తుగా ఉన్న ప్రదేశానికి అలవాటు పడిన వారి శరీరానికి ప్రా. వా. మామూలుగా సముద్రమట్టాన ఉన్నవారికి లాగానే చేరుతుంది. ]

## దూరపు సంబంధాలు

హీమోగ్లోబిను మీద ఆమ్లత, బీపీజీ ల ప్రభావాన్ని ఎల్లోస్టిరిక్ ప్రభావం అంటారని చెప్పుకున్నాం. అంటే అవి రెండూ ప్రోటీను మీద ఎక్కుడో అతుక్కుని, పరోక్షంగా, సమతుల్యతమీద వాటికున్న ప్రభావం వల్ల, మరోచోట ప్రా. వా. అతుక్కోవడాన్ని తగ్గిస్తాయి. కానీ మీకు గుర్తుందో లేదో, ఒక హీము మీద చేరిన ప్రా. వా. మిగతా మూడు హీముల మీద ప్రా. వా. అతుక్కోవడాన్ని సులభతరం చేసే వదులు స్థితి వైపు సమతుల్యతను మొగ్గేలా చేస్తుంది. ఒక పదార్థం ప్రోటీను మీద చేరి మరో పదార్థం అతుక్కోవడాన్ని ఎక్కువగానీ తక్కువగానీ చెయ్యడాన్ని హేటరో ట్రోపిక్ ఎల్లోట్రోపిక్ ప్రభావం అంటారు (ఇదీ  $H^+$ , బీపీజీ లు చేసేది). అలా కాకుండా ప్రోటీను మీద చేరిన పదార్థం మరోచోట తానే అతుక్కోవడాన్ని ప్రభావితం చేస్తే దాన్ని హోమోట్రోపిక్ ఎల్లోస్టిరిక్ ప్రభావం అంటారు (ఇదీ ప్రా.వా. చేసేది).

హీమోగ్లోబిను విషయంలో పై రెండు రకాల ప్రభావాలు ఉన్నా, ఎంజైముల విషయానికొస్తే, హోమోట్రోపిక్ ప్రభావం చాలా అరుదు. కారణం ఏంటంటే, ఎంజైములు ఒక పదార్థాన్ని (సబ్స్ట్రేటును) తీసుకుని రసాయనిక చర్య ద్వారా మరో పదార్థంగా (ప్రోడక్టు) మార్పుతాయి. అలా చెయ్యగలచోటు ఒక ఎంజైము అణువు మీద ఒక్క చోటే ఉంటుంది (దీనికి కొన్ని మినహాయింపులు ఉన్నాయి). అందువలన ఒకచోట అతుక్కున్న సబ్స్ట్రేటు దాన్ని మరోచోట అతుక్కోవడాన్ని నియంత్రించడం జరగదు. కానీ ఎంజైములు చేసే పనిని **పెంచగల, తగ్గించగల** పదార్థాలు (activators and inhibitors) ఉండటం మామూలు. అవి ఎంజైముమీద ఎక్కుడో అతుక్కుని సబ్స్ట్రేటు అతుక్కోవడాన్ని నియంత్రిస్తాయి.

మన శరీరంలో దాదాపుగా అన్ని ముఖ్యమైన ఎంజైములూ ఎల్లోస్టిరిక్ ప్రభావంలో ఉంటాయి. ఇంత ముఖ్యమైన నియంత్రణను జన్యు ఖండాల నియంత్రణ గురించి పరిశోధన చేస్తోండగా కనిపెట్టాడు మోనో! మీరు దాని గురించి వివరంగా తెలుసుకోవాలంటే గత సంచికలో చూడండి. (విజ్ఞాన భారతి, నవంబరు 2025).

\* \* \*



ఇతర భాషలనుంచి అవసరమైన, ఉపయోగకరమైన మాటలను తీసుకోవడం వైజ్ఞానిక సాహిత్య వృద్ధికి ప్రయోజనకరమే. ఇంగ్లీషు భాషలో ఉన్న మాటల్లో దాదాపు డెబ్బయ్యిదు శాతం అవసరాల కొద్దీ ఇతర భాషలనుండి తీసుకున్నవే! ఫ్రాన్స్ దేశస్థుడు **మోనో** గ్రీకు భాషనుండి తీసుకున్న మాట (**allosteric**) ఇప్పుడు ఇంగ్లీషులో అలాగే నిలిచిపోయింది!

మరో గ్రీకు మాట **πρῶτος (prōtos)** అంటే అతిముఖ్యమైనది అని అర్థం. దాన్నుంచే ఇంగ్లీషు మాట ప్రొటీను వచ్చింది. శరీరంలో ప్రొటీన్ పాత్ర అతి ముఖ్యమైనదని గ్రహించి వాటికి ఆ పేరు పెట్టాడు స్వీడన్ దేశస్థుడు యాన్స్ యాకోబ్ బెర్జేలియస్ (**Jons Jakob Berzelius**).

\* \* \*

=====

శ్రీ ఆరి సీతారామయ్య గారు జీవరసాయన శాస్త్రం లో Ph.D. పట్టా పొంది, అమెరికాలో మిషిగన్ రాష్ట్రం లోని ఓక్లాండ్ విశ్వ విద్యాలయంలో బియోమెడికల్ సైన్సెస్ ఆచార్యులుగా పనిచేసి విరమించారు. ప్రస్తుత నివాసం హెరెండన్ పట్టణంలో (వర్జీనియా రాష్ట్రం).

=====



# విజయవాడ థర్మల్ పవర్ స్టేషన్ ఆవిర్భావం

(విజయవాడ విద్యుత్ కేంద్రము వి. వి. కే.)

శ్రీ అంగర గోపాల కృష్ణా రావు

ఈరోజు విజయవాడ థర్మల్ పవర్ స్టేషన్ ఆవిర్భావం ఎట్లా జరిగింది మొదలగు విషయాలు ఇక్కడ చర్చిస్తున్నాను. దీనిని మనం తెలుగులో విజయవాడ తాప విద్యుత్ కేంద్రం, లేదా విజయవాడ విద్యుత్ కేంద్రం (వి.వి.కే.) అని కూడా పిలుచుకోవచ్చును.

1970వ దశకంలో ఆంధ్రప్రదేశ్ విపరీతమైన విద్యుత్ శక్తి కొరత ఎదుర్కొంది. అందుచేత కరెంటు కోత చేయాల్సి వచ్చేది. చాలా చోట్ల ఎక్కువగా గ్రామీణ ప్రాంతంలో విద్యుత్ శక్తి సరఫరా నిలిపివేయబడుతూ ఉండేది. అలాగే కొన్ని పరిశ్రమలకు కొన్ని గంటలు మాత్రమే విద్యుత్ శక్తి సరఫరాను కుదించవలసి వచ్చేది.

ఈ సమయంలో విద్యుత్ ఉత్పాదక శక్తిని శీఘ్రముగా పెంచవలసిన అవసరం ఏర్పడింది. ఈ పరిస్థితుల్లో విజయవాడలో ఒక తాప (థర్మల్) విద్యుత్ ఉత్పాదన కేంద్రం నెలకొల్పాలని అప్పటి రాష్ట్ర ప్రభుత్వం నిర్ణయించి ప్రణాళికలు తయారు చేయించింది. అవి భారత కేంద్ర ప్రభుత్వానికి పంపగా ఆ ప్రణాళికలను ఆమోదించి విద్యుత్ ఉత్పాదన కేంద్రమును కట్టడానికి అనుమతిని ఇచ్చింది. ఆ ప్రకారం 1976వ సంవత్సరంలో నిర్మాణం మొదలయ్యింది.

బొగ్గు ఆధారిత విద్యుత్ కేంద్రము నిర్మాణము చేసి దాని నుంచి విద్యుత్ శక్తిని ఉత్పాదన చేయడానికి సుమారు నాలుగు సంవత్సరముల నుండి ఐదు సంవత్సరములు పట్టవచ్చును. అందువలన శీఘ్రగతిని ఉత్పాదన చేయు నట్టి గ్యాస్ (సహజ వాయువు) ఆధారిత పవర్ ప్లాంట్లను నిర్మించడానికి ప్రైవేట్ రంగంలోని పారిశ్రామిక వేత్తలకు అవకాశం ఇవ్వాలని ప్రభుత్వం తలపోసి, ఎవరు తక్కువ ధరకు విద్యుత్తు విక్రయించగలరో వారిని టెండర్ ప్రక్రియ ద్వారా ఎంపిక చేసి వారికి కృష్ణ గోదావరి బేసిన్ లో ఉత్పన్నమయ్యే సహజవాయువును అందించుటకు ఓఎన్జిసి ONGC వారిని ఒప్పించింది. ఈ గ్యాస్ ఆధారిత పవర్ ప్లాంట్లు సుమారు 300 మెగావాట్లు శక్తికలిగి 18 నెలలోనే పనిచేయునట్లు ఒప్పందములు చేసుకొని స్పెక్ట్రం మరియు జీవీకే ఇండస్ట్రీలకు అవకాశం ఇచ్చింది. ఈ ప్రకారము ఈ రెండు సంస్థలు ఎలక్ట్రిసిటీ బోర్డ్ వారితో విద్యుత్ శక్తి కొనుగోలు ఒప్పందములు చేసుకొని విద్యుత్ శక్తిని సరఫరా చేయడం మొదలుపెట్టాయి.

ఇది యిలా ఉండగా, వి.వి.కే.లో మొదటగా రెండు వందల పది మెగావాట్ల శక్తి గల రెండు యూనిట్లను (2 x 210 మె.వా) స్థాపించాలని నిర్ణయించారు. అది ఆవిరి ఉత్పాదక యంత్రముల (బాయిలరు) ప్రతిష్ఠాపన కోసం కావలసినటువంటి ఉక్కు (స్టీలు) స్తంభాలను ముందుగా నిలబెట్టారు.

1977 నవంబరులో కృష్ణాజిల్లా విపరీతమైన తుఫాను తాకిడికి గురి అయ్యింది. అప్పుడు దివిసీమలో ఉప్పెన వచ్చి ఎంతో ప్రాణ నష్టం ఆస్తి నష్టం జరిగింది. విపరీతమైన వేగంతో గాలులు వీచాయి. ఆ తుఫాను ప్రభావం వలన విజయవాడ విద్యుత్కేంద్రానికి కూడా

దెబ్బ తగిలింది. సగం సగం నిర్మాణంలో ఉన్నటువంటి ఇనుప స్తంభాలు వంకర పోయి వంగిపోయినాయి. అటువంటి సమయంలో నిర్మాణానికి అంతరాయం ఏర్పడి ఆలస్యం అవుతుందని అందరూ భావించారు.

సాధారణంగా ఒక థర్మల్ పవర్ ప్లాంట్ ని అనగా తాప విద్యుత్ కేంద్రమును నిర్మించాలంటే, వేగంగా రాత్రింబవళ్ళు పనిచేస్తే అది మూడు సంవత్సరాలు పడుతుంది. 1976 లో మొదలు పెట్టారు కాబట్టి ఇది 1979 వరకు పూర్తి అవుతుందని అంచనా వేశారు. చాలా వేగంగా తిరిగి పునర్నిర్మాణం మొదలుపెట్టారు విజయవాడ విద్యుత్కేంద్రంలో.

రాష్ట్రంలో విద్యుత్తు కొరతను అధిగమించడానికి ఆలోచనలు చేసి అప్పటి ముఖ్యమంత్రి జలగం వెంగళరావుగారు నార్ల తాతారావుగారని సెంట్రల్ వాటర్ అండ్ పవర్ కమిషన్ (CWPC) లో సభ్యుడుగా ఉన్నటువంటి ఆయనను ఆంధ్రప్రదేశ్ కు తీసుకొచ్చారు. ఆయన అయితే చాలా సమర్థుడని ఈ సమస్యని సులభంగా పరిష్కరిస్తాడని భావించి ఆయన్ని పిలుచుకొని వచ్చారు. ఆయన నిజంగానే చాలా విజ్ఞానవంతుడు సమర్థుడు బీ.హెచ్.ఈ.ఎల్. (BHEL) పరిపాలన వ్యవస్థ అనగా బోర్డ్ ఆఫ్ డైరెక్టర్సులో డైరెక్టరుగా ఉన్నారు. ఆ పరపతితో ఆయన విద్యుత్ శక్తి యంత్రాలు సరఫరా చేయు బీ.హెచ్.ఈ.ఎల్. వారితో కూడా సంప్రదింపులు జరిపి మనకి కావలసిన విధంగా దాన్ని డిజైను చేయించి త్వరితగతినీ విజయవాడకు తరలింప చేశారు.

ఇక్కడ విజయవాడ తాప విద్యుత్ కేంద్ర నిర్మాణం గురించి కొన్ని కుతూహలమైన విషయాలు చెప్పుకోవాలి

### మూడు యూనిట్లకు ఒకటే చిమ్నీ

మామూలు తాప విద్యుత్ కేంద్రాల డిజైనుకి భిన్నంగా తాతారావు గారు ఈ విజయవాడని తన సొంత ప్రాజెక్టుగా భావించి ఎన్నో మార్పులు చేర్పులు చేసి ఒక కొత్త రచన పుట్టించారు. ఇక్కడ మొదటి స్టేజీలో రెండు యూనిట్లని నిర్మించాలని సంకల్పించారు. ఈ రెండు యూనిట్లకి కామనుగా ఒకటే పొగ గొట్టము కాంక్రీటు తో నిర్మించారు. దీనిని స్టాక్ (stack) అంటారు. దీనిలో ఉక్కు గొట్టాల ద్వారా పొగను బయటకు పంపుతారు భవిష్యత్తులో ఇంకొక యూనిట్ నిర్మాణానికి కూడా వీలు కల్పిస్తూ ఈ ఒక్క స్టాక్ లోనే మూడు పొగ గొట్టాలని అమర్చారు. అది ఒక వినూత్నమైన ప్రయోగం.

### లేబెల్ మార్కు వల్ల పరిశుభ్రత

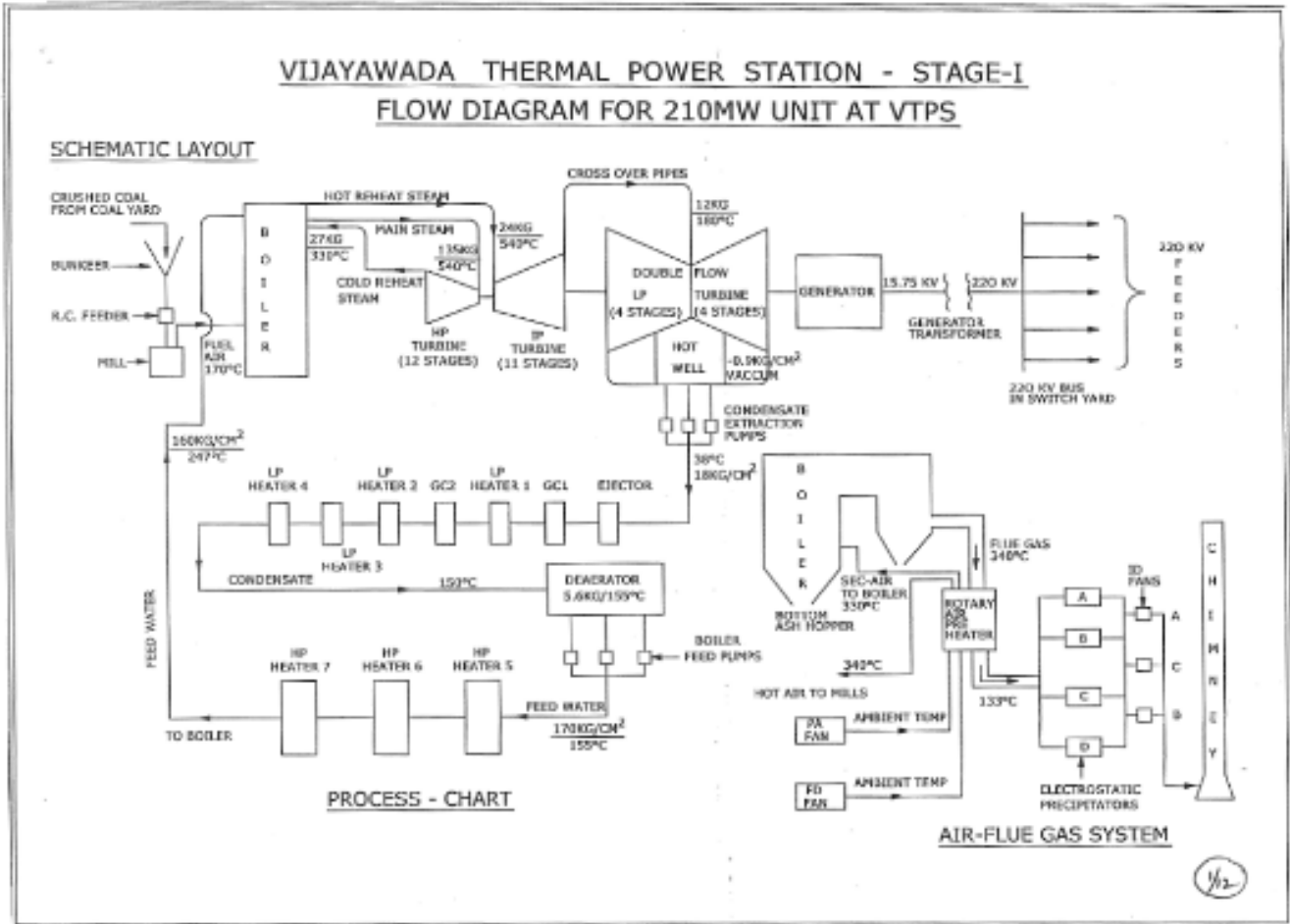
సాధారణంగా విద్యుత్ శక్తి ప్లాంట్ లేఅవుట్ ని పరిశీలిస్తే చాలాచోట్ల టర్బైన్ హాలు దాని తర్వాత బొగ్గుని సరఫరా చేసే యంత్రాలు బంకర్లు అటు తర్వాత బాయిలరు, ఎయిర్ హీటర్లు, ESP, చిమ్నీ ఆ వరుసక్రమంలో అమర్చబడి ఉంటాయి. ఇటువంటి అమరిక (layout) వల్ల ఈ బొగ్గు పొడి చేసే యంత్రాలు అంటే బొగ్గు మిల్లులు నడుస్తున్నప్పుడు చాలా బొగ్గు నుసి అక్కడ అంతా పడి వ్యాపిస్తుంది. అది టర్బైన్ హాలుకు పక్కనే ఉండడం వల్ల ఈ దుమ్ము అంతా టర్బైన్ హాలు లోకి కంట్లో హాలు లోకి వచ్చి విద్యుత్ కేంద్రమంతా చాలా మురికిగా ఉండేది అసహ్యంగా తయారయ్యేది.

ఇది నివారించేందుకు అమరికలో మార్పులు చేస్తూ తాతారావు గారు విద్యుత్ శక్తి ప్లాంట్ అమరికని కొత్తదిగా డిజైను చేశారు. టర్బైన్ హాలు తరువాత ఎయిర్ హీటర్లు, బాయిలరు, బొగ్గు ను పొడిచేసే యంత్రాలు (కోల్ మిల్స్), తరువాత ఈయస్ పి, చివరగా పొగ పోయే గొట్టం (చిమ్నీ). ఈ క్రమం లో లేబెల్ మార్కుచేశారు. బాయిలరును 180 డిగ్రీలు తిప్పివేసి బొగ్గు బంకర్లు, మిల్లులను బాయిలరు తరువాత వచ్చేటట్లు అమర్చారు. దీని వలన బొగ్గు సరఫరా వ్యవస్థ టర్బైన్ హాలుకు దూరంగా జరిగి బొగ్గు దుమ్ము ధూళి టర్బైన్ హాలులోకి రాకుండా శుభ్రంగా ఉండేందుకు దోహద పడింది.

### ఎలక్ట్రో స్టాటిక్ ప్రెసిపిటేటర్ల వ్యవస్థ

బొగ్గు మండించగా ఉత్పన్నమయే CO, CO2 మొదలైన కలుషిత వాయువులకు Flue gases అని పేరు. టర్బైన్ హాలు పక్కన పొగ పోవడానికి వాడినటువంటి గొట్టాలు అవన్నీ వెళ్ళాక అక్కడ ఈ బొగ్గుని సరఫరా చేసే బొగ్గు మిల్లులు బొగ్గు బంకర్లు ఏర్పాటు చేసి అక్కడినుంచి ఆ తరువాత ఎలక్ట్రో స్టాటిక్ ప్రెసిపిటేటరు అనే వ్యవస్థని నిర్మించారు. ఈ పొగని చిమినీ ద్వారా బయటికి పంపేటప్పుడు ఆ పొగలోని బూడిద కణాలు మొదలగు వాటిని కరెంటు చార్జ్ ద్వారా ఆకర్షించి అక్కడే పడేస్తాయి. ఉత్త పొగ మాత్రం క్లీన్ గా బయటికి

వెళుతుంది. అందుచేత ఈ ఎలక్ట్రో స్టాటిక్ ప్రెసిపిటేటర్లు వాడినందువల్ల గొట్టంలో పొగ వస్తున్నట్లు కనపడదు. ప్లాంటులో నడుస్తున్నా కూడా పొగలో దుమ్ములేనందువల్ల పొగ కనబడదు. అది ఒక గొప్ప ఘనకార్యం.



బొమ్మ సౌజన్యం: రచయిత

## మైంటెనెన్సు సమయం తగ్గింపు

దీనివల్ల కొంత లేఅవుట్ విశాలంగా తయారై ఆ బొగ్గును నూరేటువంటి యంత్రాలు (బొగ్గు మిల్లులు) విశాలమైన ప్రదేశంలో నిర్మించబడి వాటిని మెయింటెన్ చేయడానికి అనువుగా ఉండేవి. చిన్న చిన్న క్రేన్లు నడవడానికి వీలుగా మధ్యలో పెద్ద రోడ్డు కూడా ఉండి మెయింటెనెన్స్ చేసేటప్పుడు పని చాలా సులువుగా త్వరగా జరిగేది.

బొగ్గు మిల్లులను మామూలుగా అయితే ఓవర్ హోల్ చేయడానికి ఒక వారం రోజులు పట్టేది. అట్లాంటిది ఈ కొన్ని మార్పులు చేర్పుల వల్ల, పనివాళ్ళకి మంచి శిక్షణ ఇచ్చినందువల్ల వాళ్ళు ఆ ఓవర్ హోలింగ్ పనిని మొత్తం మూడు రోజులకి తగ్గించగలిగారు. దానివల్ల యంత్రము ఓవర్ హోల్ అయ్యి తొందరగా సర్వీసులోకి వెళ్లే అవకాశం కలిగింది. రాను రాను దానికి ఇంకా మెరుగు పరిచి ఒక రోజులోనే పూర్తిచేసేటటువంటి బ్యాచ్ ను తయారు చేశారు. ఈ వినూత్నమైన ప్రయోగాన్ని గురించి తెలుసుకొన్న దేశంలోని ఇతర విద్యుత్ కేంద్రాల ఇంజనీర్లు వాళ్ళ పనివాళ్ళని వెంటబెట్టుకొని వచ్చి విజయవాడ విద్యుత్ కేంద్రం పని విధానాలను చూపించి అదే పద్ధతులను వాళ్ళు కూడా అవలంబించి పని గంటల్ని బాగా తగ్గించుకొని లాభం పొందారు.

ఈ డిజైను మార్పిడి వల్ల **పొగపొయే గొట్టాల** (అంటే flue ducts) పొడుగు ఎక్కువ అవుతాయి ఎందుకంటే బాయిలరుకు చిమ్నీకి మధ్యలో ఈ బొగ్గు మిల్లులు ఏర్పాటు చేశారు కదా, కాబట్టి బాయిలర్ నుంచి చిమ్నీ వరకు దూరం పెరుగుతుంది. అందుచేత కొంచెం ఎక్కువ ఒత్తిడితో తోయాల్సివచ్చేది. అయిననూ దానికి సరైనటువంటి FD ఫ్యాన్స్ ID ఫ్యాన్స్ మొదలైనవి బి.హెచ్.ఈ.ఎల్ వారి

చేత డిజైను చేయించి వాటిని అక్కడ అమర్చడం జరిగింది. ఈ బొగ్గు మిల్లులను రేమండే బౌల్ మిల్లు అనేవారు. ఇటువంటి ఒక్కొక్క మిల్లు దగ్గర నుంచి పొడి చేయబడినటువంటి బొగ్గు నాలుగు బొగ్గు గొట్టాలు ద్వారా బాయిలరుకి సరఫరా అవుతూ ఉండేది. అటువంటి మిల్లులు ఆరు ఉండేవి. ఒక బాయిలరుకు నాలుగు మిల్లులు అవసరం అయ్యేవి. ఈ నాలుగు మిల్లులు సాధారణంగా పనిచేస్తూ ఉంటే ఐదవ మిల్లు, ఆరవ మిల్లు పక్కన ఖాళీగా సిద్ధంగా (స్టాండ్ బై) గా ఉండేవి. ఈ గొట్టాలు బాయిలరు లోకి ప్రవేశించే విధానాన్ని బట్టి రెండు రకాలు. ఇంతకు మునుపు **ఫ్రంట్ ఫైర్డ్** (Front fired) బాయిలర్లు ఉండేవి. అందులో గొట్టాలు ముఖద్వారం నుంచే ప్రవేశించేవి. కాని ఇది కంబళన్ ఇంజనీర్స్ ఆఫ్ యూఎస్ఏ వాళ్ళ డిజైను ప్రకారం తయారు చేయబడిన రెండవ రకం బాయిలరు. ఇందులో ఒక మూల నుంచి బొగ్గుని ప్రవేశపెడతారు. మిల్లు నుంచి నాలుగు గొట్టాల ద్వారా తీసుకొని వచ్చిన ఈ బొగ్గు పొడిని బాయిలరు నాలుగు మూలల నుంచి లోపలికి పంపించి మంట మండించేవారు. అందుచేత వీటికి **కార్నర్ ఫైర్డ్** (corner fired) బాయిలర్లు అని పేరు. ఇటువంటి బొగ్గు పొడి సరఫరా గొట్టాలు ఆరు అంతస్తులలో ఉండేవి.

ఆరు మిల్లుల నుండి ఆరు అంతస్తులలోని మూలలకు బొగ్గు పొడి సరఫరా అయ్యే వెసులుబాటు ఉండేది. (six elevations of coal guns **బొగ్గు తుపాకీలు**) A,B,C,D,E,F అని ఈ అంతస్తులకు పేర్లు పెట్టారు. ఈ బొగ్గుపొడి బాయిలర్లోకి ప్రైమరీ గాలి ద్వారా వేగంగా వెళుతుంటే అది మండడానికి ఆయిల్ గన్స్ ఉండేవి. ప్రతి రెండు బొగ్గు తుపాకులకు మధ్యలో ఒక ఆయిల్ గొట్టం ఉండేది, అంటే A B అంతస్తుల మధ్యలో ఒకటి, C D అంతస్తుల మధ్యలో ఒకటి, E F అంతస్తుల మధ్యలో ఒకటి చొప్పున ఆయిల్ గన్స్ ఉండేవి. బొగ్గు యొక్క ఉష్ణశక్తిని కేలరీలలో కొలుస్తారు. తాప విద్యుత్ కేంద్ర బాయిలర్లు పనిచేయడానికి కిలో బొగ్గుకు 3,500 కిలో క్యాలరీల శక్తి కల బొగ్గు కావలసి ఉంటుంది. వాటి డిజైను ఆ ప్రకారం చేస్తారు. అప్పుడు నాలుగు అంతస్తుల బొగ్గు తుపాకులు పనిచేస్తే మనకు కావలసిన స్థాయిలో ఆవిరి ఒత్తిడి ఉష్ణోగ్రత వచ్చేది. కానీ మనకు సరఫరా చేస్తున్న బొగ్గు గనులలో ఉత్పత్తి అయ్యే బొగ్గు చాలా తక్కువ ఉష్ణశక్తి కలది. అనగా కిలో బొగ్గుకు 3000 లేదా అంతకంటే తక్కువ కిలో క్యాలరీల శక్తి కలిగిఉండేది. అందువలన 5 అంతస్తులలో బొగ్గును మండించవలసి వచ్చేది. కావున ఐదు మిల్లులు నిరంతరము పనిచేయవలసి వచ్చేది. ఆరవ మిల్లు అవసరానికి పనిచేసేటట్లు సిద్ధంగా ఉండేది. ఏదైనా పనిచేస్తున్న మిల్లులో సమస్య వస్తే అది ఆపేసి ఆరవ మిల్లును పనిలో పెట్టేవారు. కాని ఆరవ అంతస్తు అన్నింటికంటే ఎక్కువ ఎత్తులో ఉండటం వలన ఆవిరి ఉష్ణోగ్రత పెరిగిపోయి కొత్త సమస్యలు పుట్టుకువచ్చేవి. దానిని చల్లబరచడం కోసము నీటిని ఆవిరిలోకి పంపేవారు. ఇటువంటి యంత్రచాలన (operational) సమస్యలను సమర్థవంతంగా ఎదుర్కొని తాప విద్యుత్ కేంద్ర ఇంజనీరు ఈ బాయిలరు టర్పైను యంత్రాలను నడిపేవారు.

ఈ బొగ్గు నుసిని బొగ్గు మిల్లుల నుంచి బాయిలర్ వరకు తీసుకెళ్లడానికి ప్రైమరీ ఎయిర్ ఫ్యాన్స్ (Primary Air Fans పీ ఏ ఫ్యాన్స్) ను వాడేవారు. ఒక్కొక్క బాయిలర్ కి రెండేసి ఫ్యాన్స్ ఉండేవి. ఈ ఫ్యాన్స్ గాలిని ఆ మిల్లులలోకి సరఫరా చేసి, ఆ ఒత్తిడి వల్ల పొడి అయినటువంటి బొగ్గుని గొట్టాల ద్వారా బాయిలరులోకి తీసుకెళ్లేవి.

అక్కడ అవి మంటకి కావలసినటువంటి ఆక్సిజన్ అవి సరఫరా చేయడానికి ఎఫ్. డీ. ఫ్యాన్లను (F. D. Fans Forced Draught) అమర్చారు. ప్రతి బాయిలరుకి ఇటువంటి ఫ్యాన్లు రెండేసి ఉంటాయి. ఈ ఫ్యాన్లు ఈ మంటకి కావలసినటువంటి వాయువు ఆక్సిజన్ మొదలైనవి సరఫరా చేసేవి. ఈ మూలల్లో అందిన బొగ్గును అంటించడానికి వీలుగా ఆయిల్ గన్స్ కూడా ఏర్పాటు చేశారు. ఆయిల్ తో ముందు ఆ కార్బర్ లో మంట రగిల్చి తరువాత కొంత సేపయ్యాక ఈ బొగ్గు నుసిని పంపిస్తే అది సులభంగా అంటుకుని మండటం మొదలవుతుంది. తర్వాత ఈ బొగ్గు అంతా కూడా లోపల మండిన తర్వాత బయటికి వచ్చేటువంటి పొగ (flue gas) ఐడి ఫ్యాన్స్ ద్వారా బయటికి లాగేవారు. ఈ ఐడి ఫ్యాన్స్ చిమ్నీలకు దగ్గరగా ఉండేవి. ఆ చిమ్నీ దగ్గర ఈ ఫ్యాన్స్ తిరుగుతూంటే ఈ బాయిలరులో ఒక నెగిటివ్ ప్రెషర్ ఏర్పడి అక్కడ ఏర్పడిన వాయువులన్నీ కూడా అక్కడికి ఆకర్షించబడతాయి. ఆ విధంగా వాయువులను బయటకు తోసేవారు. ప్రతి బాయిలరుకి ఇటువంటి ఐడి ఫ్యాన్లు రెండేసి ఉంటాయి.

ఈ ఆవిరి ఉత్పత్తి చేసే యంత్రము అంటే బాయిలర్ టూ పాస్ బాయిలర్ అంటారు. అంటే మంట ఒకచోట మండి ఆ వేడి గాలులు పైకి వెళ్ళిపోయి అది మళ్ళీ తిరిగి హారిజంటల్ గా అంటే నేలకు సమాంతరంగా ప్రవహించి మళ్ళీ కిందకి దిగుతాయి. అలా కిందకు దిగినప్పుడు అక్కడ ఈ వాయువుల్లో ఉండే వేడిని అంతా కూడా గ్రహించడానికి రెండు యంత్రాలు (ఎయిర్ హీటర్స్) ఏర్పాటు చేశారు. అవి నిదానంగా తిరుగుతూ ఉంటాయి. వీటిలో ఎన్నో **వక్రములు కలిగినటువంటి** (Corrugated) ఉక్కు పలకలు (స్టీల్ ప్లేట్లు) ఉంటాయి. వాటి మీదనుంచి ఈ వేడి గాలులు వెళ్ళినప్పుడు వాటి ఉష్ణోగ్రతని ఆ ప్లేట్లకి మారుస్తాయి.



ఇవి మళ్ళీ ఇంకొక వైపున - అదే ఎయిర్ హీటర్ కి ఇంకో పక్క నుంచి ఈ FD ఫ్యాను PA ఫ్యాను పంపేటువంటి గాలులు కూడా ఏకమై ప్రవహించి ముందుగా బాయిలర్ లోకి వెళ్లే గాలిని వేడి చేస్తారు. దీని వల్ల మంట మండటానికి చాలా అనువుగా ఉంటుంది.

పూర్వము బొగ్గు మండుటకు బాయిలర్లో అడుగున ఒక స్టీల్ చట్రం వంటి ప్లేటు ఉండేది దానిమీద ఈ బొగ్గు ముక్కలను పడవేసి మండించేవారు. ఈ చట్రము నెమ్మదిగా కదులుతూ కాలిపోయిన బొగ్గు ముక్కలను ముందుకు తీసుకెళ్లి కొత్త బొగ్గును బంకర్ లో నుంచి అందులో పడేటువంటి ఏర్పాటు ఉండేది. దీనివల్ల బొగ్గులోని ఉష్ణోగ్రతను సంపూర్ణంగా గ్రహించుటకు వీలుపడేది కాదు దానివల్ల ఉష్ణ శక్తి సామర్థ్యము చాలా తగ్గిపోయేది. బొగ్గును పొడిచేసి మండించటం వలన బొగ్గులోని శక్తిని బాగుగా గ్రహించగలరని భావించి **ముసి ఇంధన** (pulverised fuel) టెక్నాలజీని ప్రవేశపెట్టారు. అందుచేత బొగ్గు నూరి పొడి చేయుటకు తిరగలి వంటి యంత్రములు (కోల్ మిల్స్, coal mills) వాడేవారు. ఈ పొడి చేయబడిన బొగ్గును ఇంతకు ముందు చెప్పినట్లు పిఎ ఫాను గాలి ద్వారా బాయిలర్ లోనికి పంపేవారు. ఈ పద్ధతి వలన బొగ్గులోని ఉష్ణ శక్తిని చాలా భాగము సంగ్రహించి **ఇంధన సామర్థ్యము** (fuel efficiency) పెంచేవారు.

కానీ ఈ ఆధునిక టెక్నాలజీ వచ్చాక అంటే పల్వరైజ్డ్ మిల్లు టెక్నాలజీ పెట్టినప్పుడు దాని యొక్క సామర్థ్యం (ఎఫిషియన్సీ) బాగా పెరిగి బాయిలర్లలో ఆవిరి ఉత్పత్తి అయ్యేది. ఈ విజయవాడలో ఉండే బాయిలర్లలో ఆవిరి చ.సెం.మీ కు 176 కి.గ్రా. ఒత్తిడితో 540°C ఉష్ణోగ్రతతో ఉత్పత్తి అయ్యి టర్బైనులోకి పంపించేవారు. దీన్ని అతి వేడి ఆవిరి (సూపర్ హీటెడ్ స్టీమ్) అంటారు. అంటే మామూలుగా 100 డిగ్రీల సెంటీగ్రేడ్ కు మరిగే నీటిని 540°C దాకా మరిగించడం అన్నమాట.

సాధారణంగా నీరు 100°C వద్ద ఆవిరి అవుతుంది. కానీ ఈ నీటిని విపరీతంగా వేడికి గురి చేసినందువల్ల ఒత్తిడి పెరిగి బాయిలింగ్ పాయింట్ బాగా పెరిగిపోతుంది. ఈ విధంగా 540 డిగ్రీలకు ఆవిరిని ఉష్ణోగ్రత పెంచి టర్బైనులో ప్రవేశపెట్టి హై ప్రెషర్ టర్బైనులో కొంత పని చేసిన తరువాత ఉష్ణోగ్రత తగ్గిన ఆవిరిని తిరిగి బాయిలర్ లోకి పోనిచ్చి మరల 540 డిగ్రీల వరకు వేడి చేసి దానిని మరల ఇంటర్మీడియట్ స్టేజీలో ప్రవేశ పెడతారు. దీనినే **రీహీట్ టెక్నాలజీ** అంటారు

ఈ ఉష్ణోగ్రతని పెంచడానికి అక్కడ బాయిలరులోనే సూపర్ హీటర్ కాయిల్స్ అని గొట్టాలు ఉండేవి. అందుచేత ఈ బాయిలర్ లో హరిజాంటల్ పాస్ లో వెళ్లేటువంటి దోవలో ఈ గొట్టాలు పెట్టేవారు. అప్పుడు ఈ ఫ్లూ గ్యాస్ లో ఉండేటువంటి ఉష్ణోగ్రత అంతా ఆ గొట్టాల మీద ప్రవహించి ఆ గొట్టాల్లో ఉండే ఆవిరిని ఇంకా ఇంకా వేడి చేసి 540 డిగ్రీల ఉష్ణోగ్రతకి పెంచేవి. అక్కడ టర్బైనులు 170 కేజీలు ఆవిరి ఒత్తిడి 540°C డిగ్రీలు ఆవిరి ఉష్ణోగ్రత అనే పారామీటర్స్ (లక్షణాలు) మీద నడుస్తూ ఉండేవి.

విజయవాడ షవర్ స్టేషన్ లో ఉండే టర్బైన్సు 210 మెగా వాట్ల విద్యుత్ శక్తి ఉత్పత్తి చేసే సామర్థ్యం కలిగి ఉన్నవి. వాటిని రష్యన్ టెక్నాలజీలో డిజైన్ చేశారు. రష్యా నుంచి ఎల్ ఎం జెడ్ LMZ అనే టైపు మిషనులు దిగుమతి చేసుకొని అక్కడ ఏర్పాటు చేశారు. ఈ యంత్రాలలో నడిచే ఆవిరి యొక్క లక్షణాలు ఇందాక నేను చెప్పినట్లు 170 సెంటీమీటర్స్ ఆవిరి ఒత్తిడి 540 డిగ్రీల సెంటీగ్రేడ్ ఉష్ణోగ్రతలు ఉండేవి.

ఈ స్టీమ్ సైకిల్ సామర్థ్యం ఎక్కువ చేయడానికి రీ హీటర్స్ కూడా వాడేవారు. టర్బైన్ లో ప్రయాణించే ఆవిరి మధ్య మధ్య కొన్ని దశలలో బయటికి తీసి అది మళ్ళీ బాయిలర్ లోకి పంపించేవారు. ఈ రీ హీటర్ కాయిల్స్ లోకి వెళ్లి అక్కడ ఈ ఫ్లూ గ్యాస్ యొక్క ఉష్ణోగ్రతని సంగ్రహించుకుని 540°సి దాకా వేడెక్కి మళ్ళీ బాయిలర్ లోకి వచ్చేవి. బాయిలర్ లో మళ్ళీ అవి ఇంకొకచో వేడెక్కి సూపర్ హీటర్ కాయిల్స్ లోకి వెళ్లి మరింత ఉష్ణోగ్రతని సంతరించుకొని వెళ్లేవి.

ఈ రీహీట్ టెక్నాలజీ వల్ల స్టీమ్ సైకిల్ ఎఫిషియన్సీ బాగా పెరిగేదన్నమాట ఆ కొత్త టెక్నాలజీ ముందుగా వి.వి.కే లోనే మొట్టమొదటిగా మన ఆంధ్రప్రదేశ్లో మొదలుపెట్టారు.

ఇక టర్బైను విషయానికి వస్తే ఇందులో పలు దశలు ఉండేవి. ఈ పలుదశలలో నుంచి ఆవిరి ప్రవేశించి ప్రయాణం చేస్తూ ఆవిరిలోని ఉండే శక్తినంతా దానికి ఇచ్చేసి అది చల్లబడిపోయి కండెన్సరులోకి ప్రవేశిస్తూ ఉంటుంది. ఈ కండెన్సర్ అనేది స్టీమ్ టర్బైన్ ఆఖరి స్టేజీలో కింద ఉంటుంది. ఆవిరి టర్బైనులో తన శక్తిని అంతా వినియోగించిన తర్వాత దాని ఒత్తిడి ఉష్ణోగ్రత బాగా తగ్గిపోయి

దాదాపు **నీటి ఆవిరి** (water vapor) దశకు వచ్చేస్తుంది. ఆ నీటి ఆవిరి చల్లబడడానికి ఈ కండెన్సరులో చల్లటి నీటిని సర్క్యులేట్ చేసేవారు. ఈ ఆవిరి దాని ద్వారా ప్రయాణించి అక్కడ నీరుగా అయిపోయి ఆ కింద ఒక పెద్ద బేసిన్లో పడుతూ ఉంటుంది. ఈ నీటిని తిరిగి బాయిలర్ లోకి పంపించేసి మళ్ళీ నీటిఆవిరి ఉత్పత్తికి వాడేవారు. ఈ విధంగా మళ్ళీ వినియోగించబడేది (రీసైకిల్) అన్నమాట. ఇందులో వచ్చేది కొంత భాగం కారిపోయినా (లీక్) చాలా భాగం మళ్ళీ ఆవిరిని ఉత్పత్తి చేయడానికి ఉపయోగించేవారు.

తర్వాత ఎలక్ట్రిసిటీ ప్రొడ్యూస్ చేసేటటువంటి మెషిను అంటే జనరేటరు డిజైను కూడా ఇక్కడ మొట్టమొదటిసారిగా వాటర్ కూల్డ్ జనరేటరుని ప్రవేశపెట్టారు. అంటే జనరేటర్ను చల్లబరచడం. ఇంతకుముందు ఈ టెక్నాలజీ మనకి లేదు.

జనరేటర్ లో ముఖ్యంగా రెండు భాగాలుంటాయి. ఒకటి తిరిగేది (రోటరు) మరొకటి తిరగనిది (స్టేటరు). జనరేటర్ విద్యుత్ శక్తిని ఉత్పత్తి చేసేటప్పుడు స్టేటరులోని కాయిల్స్ వేడెక్కిపోతాయి. వాటిని చల్లబరచడం చాలా అవసరం. ఇక్కడ ఒక విషయం. ఇంతవరకు 200 మెగావాట్ల సామర్థ్యం గల జనరేటర్ లను హైడ్రోజన్ ద్వారా చల్లబరిచేవారు. కానీ ఈ రష్యను డిజైను జనరేటర్లలో జనరేటరు కాయిల్స్ ని చల్లబరచడానికి నీటిని ఉపయోగించేవారు. దీని కొరకు స్టేటర్ కాయిల్స్ గుల్లగా తయారు చేసేవారు అంటే దాని లోపల నీరు ప్రవహించడానికి వీలుగా గొట్టం లాగా ఉండేవన్నమాట. దానికి ప్రత్యేకంగా **ఖనిజ రహిత నీటిని** (demineralized DM) పంపి చల్లబరిచేవారు. ఆ నీటిని తిరిగి బయటికి తీసుకొచ్చాక దాన్ని మళ్ళీ ఇంకొక DM water coolers లో చల్లబరిచి మళ్ళీ ఆ జనరేటర్ కాయిల్స్ లోకి ప్రవహింప చేసేవారు. దీని అన్నిటికీ ఎంతో క్లిష్టమైనటువంటి డిజైన్ ఉండేది. ఈ రష్యను టెక్నాలజీలో అది వాడారు.

నీటితో పాటు హైడ్రోజను కూడా వాడేవారు. ఈ హైడ్రోజను ఎక్కువగా రోటరును చల్లబరిచేది. రోటర్ అంటే అంటే జనరేటర్ లో తిరిగేటటువంటి అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని (Magnetic Flux) ఉత్పత్తి చేసేటటువంటి భాగం. ఆ రోటర్ ని చల్లబరచడానికి ఈ హైడ్రోజన్ వాడేవారు. ఈ వేడెక్కిన హైడ్రోజనుని చల్లపరచడానికి మళ్ళీ వేరే హైడ్రోజను కూలర్స్ అని ఒక్కొక్క జనరేటరుకి నాలుగు కూలర్స్ చొప్పున ఆ పైన చుట్టు అమర్చేవారు. చల్లబరిచేందుకు నీటిని వాడేవారు. అది నేను చెప్పినట్టు హైడ్రోజను వాయువును చల్లబరచడానికి పనికొస్తుంది. ఈ విధంగా జనరేటరు చల్లార్చే యంత్రాంగం (కూలింగ్ వ్యవస్థ) అంతా తయారు చేయబడింది. ఇది బాగా సాంకేతికమైనటువంటి పరిధిలో ఉంది కాబట్టి సామాన్యులకు సాధారణంగా అర్థం కాదని వీలైనంత మటుకు మామూలు భాషలో నేను వివరించడానికి ప్రయత్నం చేశాను.

ఇటువంటి జనరేటర్స్ మొదటి దశలో రెండు యూనిట్ల నిర్మాణం జరిగింది. అంటే ఒక్కొక్కటి రెండు వందల పది అనగా 420 మెగావాట్ల శక్తిగల విద్యుత్ శక్తి ప్లాంట్ ని ఆవిర్భావం చేయడం జరిగింది ఇది 1979 అక్టోబర్ నెలాఖరుకు ప్రతిష్ఠించడం అయింది. అంటే అప్పటికి మొదటి జనరేటర్ ఉత్పత్తి చేయడం మొదలుపెట్టింది. అలాగే 1980 అక్టోబర్ కి రెండవ జనరేటర్ కూడా ఉత్పత్తి చేయడం మొదలుపెట్టింది. అప్పటినుంచి ఆంధ్రప్రదేశ్లో విద్యుత్ కొరత తగ్గి సరఫరా చాలా మేరకు మెరుగుపడింది. 420 మెగావాట్లు అధిక సామర్థ్యం తోడయ్యింది కాబట్టి కొంత ఈ కొరతని అధిగమించారు.

దీని తర్వాత **రెండవ దశలో** మళ్ళీ రెండు వందల పది మెగావాట్ల సామర్థ్యం కల రెండు జనరేటర్లను ప్రతిష్ఠించారు. ఈ యంత్రాల డిజైను మొదటి స్టేజి కన్నా భిన్నంగా ఉండేవి ఈ బాయిలర్లు మొదటి దశ బాయిలర్ల లాగా రెండు మార్గాల రకం (Two-pass) కాకుండా ఒకటి మార్గం రకం (Single-pass) బాయిలర్లుగా డిజైను చేశారు. ఇది ఫ్రెంచ్ నిర్మాణ సంస్థ స్టైన్ (Stein) బాయిలర్స్ వారి ద్వారా కొనుగోలు చేశారు.

అంటే ఇందులో ఒకటి మార్గంలో ఈ మంటలు మండిన తర్వాత ఆ ఫ్లూ వాయువులు అన్నీ తిన్నగా పైకెళ్ళిపోయి బయటకెళ్ళిపోతాయి, మళ్ళీ తిరిగి వెనక్కి రావడం ఉండదు. కాబట్టి ఆ పైన ఈ సూపర్ హీటర్ కాయిల్స్ రీహీటర్ కాయిల్స్ మొదలగునవి అన్ని అక్కడే ఏర్పాటు చేసి ఈ కావలసినటువంటి ఉష్ణోగ్రతని జనరేట్ చేసేవారు. దీనివల్ల కొంత ఎఫిషియన్సీ పెరిగి ఈ ఫ్యాన్స్ లో మరి ఎక్కువ ఒత్తిడికి గురు కాకుండా FD ఫ్యాన్స్ ID ఫ్యాన్స్ డిజైను కొంచెం సులభ తరం చేశారన్నమాట.

రెండవ దశలో మొదటి దశలోని రేమండ్ బౌల్ మిల్స్ లా కాకుండా ఎక్కువ శక్తి సామర్థ్యాలు కలిగినటువంటి డ్రం మిల్స్ ని వాడారు. అంటే పెద్ద పెద్ద డ్రమ్స్ ఆరిజాంటల్ గా తిరుగుతూ ఉండేవి. వాటిలో రెండు అంగుళాల వ్యాసము గల స్టీల్ బాల్స్ ని వేసేవారు. ఆ బంతులు తిరుగుతున్నప్పుడు బొగ్గుని నూరి ఆ పొడిని బయటకు పిప్పి ఫ్యాన్ గాలి ద్వారా బాయిలర్ లోకి పంపేవారు.

దీనిలో మళ్ళీ మునుపటి లాగే పి ఏ ఫాన్స్ ద్వారా గాలి పంపించి దాన్ని బాయిలర్ నాలుగు మూలలకి పంపించేవారు. దీని వల్ల ఇంకొంచెం మెరుగైన సామర్థ్యం వచ్చి ఓవరాల్ థర్మల్ ఎఫిషియన్సీ బాగా పెరిగిందన్నమాట ఈ రెండవ దశలోని రెండు జెనరేటర్లు 1988 లో స్థాపించబడ్డాయి. ఇవి Siemens KFU డిజైను యంత్రాలు. దీనిలో నీటితో చల్లబరిచే వ్యవస్థ లేదు. హైడ్రోజను వాయువు ద్వారా చల్లబరుస్తారు.

దీని తర్వాత **మూడవ దశలో** మరియొక రెండు 210 మెగావాట్ల జెనరేటర్లు ప్రతిష్ఠించి ఆ విద్యుత్ కేంద్రాన్ని విస్తరించారు. ఈ విధంగా మూడు దశలలో రెండేసి జెనరేటర్లు చొప్పున మొత్తం ఆరు జెనరేటర్లు కలిపి 1260 మెగావాట్ల విద్యుత్ శక్తిని ఉత్పత్తి నిరంతరాయంగా ఉత్పత్తి చేస్తూ ఉంటాయి. మీరు గనక విజయవాడలోని ఆ టర్బైన్ హాలును సందర్శిస్తే ఆరు యూనిట్లు (జెనరేటర్లు) కనిపిస్తాయి.

దీని తర్వాత టెక్నాలజీ బాగా అభివృద్ధి చెంది 500 మెగావాట్ల యూనిట్లు (జెనరేటర్లు) కూడా వచ్చాయి. కాబట్టి **నాలుగవ దశలో** ఈ 500 మెగావాట్ల జెనరేటరు ఒకటి స్థాపించబడి 2009 లో ఉత్పత్తి ప్రారంభించింది.

ఇంకా టెక్నాలజీ అభివృద్ధి అయ్యి డిజైను బాగా మార్పులు చెంది సూపర్ క్రిటికల్ బాయిలర్స్ వచ్చాక, **ఐదవ దశలో** ఎనిమిది వందల మెగావాట్ల జెనరేటర్ ఒకటి స్థాపించబడి 2023 లో ఉత్పాదన మొదలు పెట్టింది.

వి. వి. కే. నిర్మాణ దశల కాల క్రమము:

**మొదటి దశలో** రెండు 210 మెగావాట్ల యూనిట్లు.

1979 నవంబరు 1న 210 మె.వా. **మొదటి యూనిట్** కమిషన్ అయ్యి ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

1980 అక్టోబరు 10న 210 మె.వా. **రెండవ యూనిట్** కమిషన్ అయ్యి ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

ఈ రెండు యూనిట్లు LMZ టైపు రష్యన్ యూనిట్లు.

**రెండవ దశలో** రెండు 210 మెగావాట్ల యూనిట్లు.

1989 అక్టోబరు 5న 210 మె. వా. **మూడవ యూనిట్** కమిషన్ అయ్యి ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

1990 ఆగస్టు 23న 210 మె. వా. **నాలుగవ యూనిట్** కమిషన్ అయ్యి ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

ఈ రెండు యూనిట్లు KFU టైపు Siemens జర్మనీ తయారీ.

**మూడవ దశలో** మరో రెండు 210 మెగావాట్ల యూనిట్లు.

1994 మార్చి 31న 210 మె. వా. **ఐదవ యూనిట్** కమిషన్ అయ్యి ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

1995 ఫిబ్రవరి 24న 210 మె. వా. **ఆరవ యూనిట్** కమిషన్ అయ్యి ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

**నాలుగవ దశలో** ఒక 500 మెగావాట్ల యూనిట్.

2009 ఏప్రిల్ 6న 500 మె. వా. **ఏడవ యూనిట్** కమిషన్ అయ్యి ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

**ఐదవ దశలో** ఒక 800 మెగావాట్ల యూనిట్.

2023 డిసెంబర్ 20న 210 మె. వా. **ఎనిమిదవ యూనిట్** కమిషన్ అయ్యి ఉత్పత్తిని ప్రారంభించింది.

ఈ డిజైన్ల మార్పులు చేర్పులు ఈ నిర్మాణ ప్రక్రియ వేగంగా కొనసాగడానికి డాక్టర్ నార్ల తాతారావు గారు ఆంధ్రప్రదేశ్ ఎలక్ట్రిసిటీ బోర్డ్ చైర్మన్ వ్యక్తిగతంగా దగ్గరుండి పర్యవేక్షించేవారు. ఆయన ఇది తన సొంత బిడ్డ లాగా భావించి ఎంతో జాగ్రత్తగా దాన్ని డిజైన్లు చేసి ఉత్పత్తిలోకి తీసుకొచ్చారు. ఈ బాయిలర్ దగ్గరనుంచి బొగ్గు మిల్లులను దూరంగా జరపడం వల్ల బొగ్గు దుమ్ము ధూళి అంతా టర్బైను హౌసులోకి రాకుండా చేసినందువల్ల టర్బైను హాలు చాల నీటుగాను క్లీన్ గాను ఉండేది. ఎవరైనా కూడా చూస్తే ఇది థర్మల్ పవర్ స్టేషన్ లా లేకపోతే ఏదైనా స్టార్ హోటల్ అనిపించేటువంటి పరిశుభ్రతను వి. వి. కే. మొట్టమొదటిసారిగా నెలకొల్పి చూపించింది. ఈ కేంద్రం యొక్క విశేషమైన పనితీరును చూడడానికి దేశం నలుమూలల నుంచి ఎంతోమంది విద్యుత్ శక్తి ఇంజనీర్లు వచ్చారు. చూసి వాళ్ళ పవర్ స్టేషనులో కూడా ఈ పద్ధతులను అవలంబించి వాళ్ళ స్టేషన్లను మెరుగుపరుచుకోవడానికి ప్రయత్నించారు.

ఈ విధంగా విజయవాడ థర్మల్ స్టేషన్ ఆంధ్రప్రదేశ్లో విద్యుత్ శక్తి కొరతను అధిగమించడానికి ఎంతో దోహదపడింది. ఇది క్లుప్తంగా విజయవాడ థర్మల్ పవర్ స్టేషన్ అంటే వి.వి.కే. ఆవిర్భావ కథ.

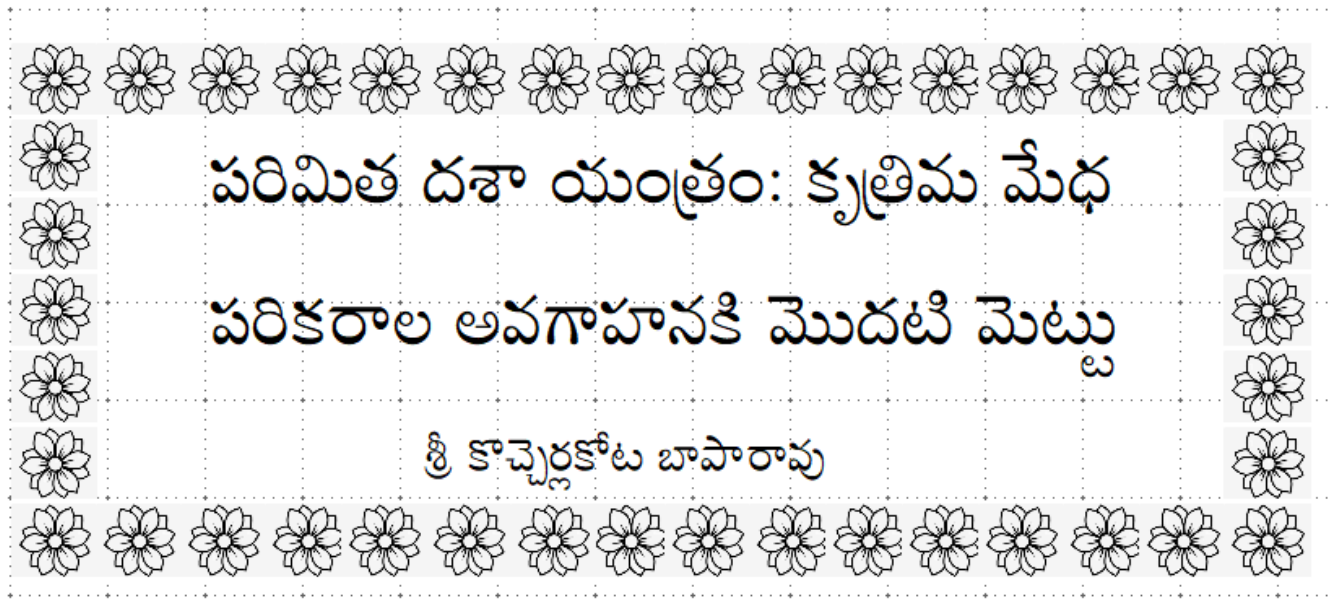
నేను ఈ పవర్ స్టేషన్ లో మొదటి స్టేజ్ కమిషనింగు నుండి అనగా డివిషన్ లో ఇంజనీర్ కమిషనింగ్ గా 1979 లో అక్కడ చేరాను. అప్పటినుంచి అక్కడే ఉండి 79 లో నవంబర్ 1 నాటికి మొదటి యూనిట్ కమిషన్ చేశాము. రెండవ యూనిట్ ని అక్టోబరు 1980లో కమిషన్ చేశాము. నేను అక్కడే సూపరిన్టెండింగ్ ఇంజనీరు గాను, తర్వాత చీఫ్ ఇంజనీరు గాను ప్రమోషన్ పొంది ఆపరేషన్ లో పనిచేసిన తర్వాత 91లో చీఫ్ ఇంజనీరు గా రిటైర్ అయిపోయినాను. తర్వాత రెండవ మూడవ నాల్గవ ఐదవ స్టేజీల్లో పైన చెప్పిన విధంగా వి వి కే లో యూనిట్లు విస్తరింప చేయడం జరిగింది.

\* \* \*

[ ఇది అంగర వారు ముద్రించి పంపిన ప్రసంగానికి అక్షరరూపం. - సంపాదకుడు ]

శ్రీ అంగర గోపాల కృష్ణారావు గారు ఆంధ్ర రాష్ట్ర ఆంధ్రప్రదేశ్ రాష్ట్రములలో తొలి తరం విద్యుత్ ఇంజనీరు. 1954 లో కాకినాడ ఇంజనీరింగు కాలేజీ నుండి ఎలక్ట్రికల్ ఇంజనీరింగులో పట్టా పొంది, ఆంధ్రప్రదేశ్ విద్యుత్ బోర్డులో పలు చోట్ల విద్యుత్ ఉత్పాదన శాఖలోనూ, విద్యుత్ పంపిణీ రవాణా శాఖలోనూ పనిచేసి విరమించారు. ప్రస్తుత నివాసం హైదరాబాద్ లో.





## “అద్భుత యంత్రాలు”, సంక్లిష్టత

ఇవాళారేపు మనం ఎటుచూసినా అద్భుత యంత్రాలమయమే. టెలివిజన్లు, జెట్ విమానాలు, కంప్యూటర్లు, ఇస్రో (ISRO) వాళ్ళు ఎగరేసే ఉపగ్రహాలు, మోబైల్ ఫోన్లు ఇలా ఎన్నో. ఈ యంత్రాలు మనకి చేసిపెట్టే పనులు – అంటే మోబైల్ ఫోన్లు దేశాంతరాలనుంచి సందేశాలు రెప్పపాటులో అందజేయడం, జెట్ విమానాలు అతివేగంగా మనుషుల్ని సుదూర గమ్యాలకి మోసుకుపోడం లాంటివి – అద్భుతాలు. వీటిని రోజూ చూడడం మామూలైపోవడంతో, ఇవన్నీ పెద్ద అద్భుతాలుగా అనిపించడం మానేస్తాయి. కానీ ఒక్క క్షణం నిదానించి, “ఫలాని యంత్రం (జెట్ విమానం అనుకుందాం) ఎలా పని చేస్తుంది? దాన్ని ఎలా తయారు చేస్తారు?” అని గనక ప్రశ్నించుకుంటే, వెంటనే బుర్రకి అందనంత సంక్లిష్టత ఎదురౌతుంది. అంతటి సంక్లిష్టతగల యంత్రాలు తయారయ్యే మన అందుబాటులోకి రావడం ఈనాటి అద్భుతం.

నేడు ప్రపంచాన్ని ఉర్రూతలూగిస్తున్న అటువంటి ఒక అద్భుతం కృత్రిమమేధ (కృమే/AI Artificial Intelligence) యంత్రాలు. ఇవి గత కొద్ది సంవత్సరాలుగా బాగా ప్రాచుర్యంలోకి వచ్చాయి. గూగుల్ వారి జెమిని, ఆంథ్రాపిక్ వారి క్లాడ్, ఓపెన్ ఏఐ వారి చాట్ జీపీటీ, మైక్రోసాఫ్ట్ వారి కోపైలట్ వంటివి. ఇవి భాషాబుహత్తంత్రాల (large language models) మీద ఆధారపడ్డ ఉత్పాదక కృత్రిమమేధ (ఉకృమే Generative AI) వ్యవస్థలు. అవి మనకు మనుషులతో మాట్లాడుతున్న అనుభూతిని కలిగిస్తున్నాయి. వాటి తెలివి, అనుభవజ్ఞత నిపుణులను సైతం మించుతున్నట్లున్నాయి. వీటి శక్తులను చూస్తే అద్భుత యంత్రాలు కొత్త శిఖరాలకు ఎదిగినట్టనిపిస్తుంది. రోగనిదానం చెయ్యమన్నప్పుడు ఒక వైద్యునిలాగా, వ్యాపారపు సలహాలివ్వమన్నప్పుడు ఒక వ్యాపారిలాగా, ఒక కథ గాని వ్యాసం గాని రాయమన్నప్పుడు రచయిత లాగా, కవిత్రవం రాయమన్నప్పుడు కవిలాగా, కంప్యూటరు ప్రోగ్రాం రాయమన్నప్పుడు ఇంజనీరులాగా, ఇలా ఏమడిగినా, బహుముఖ ప్రజ్ఞతో మంచి అనుభవజ్ఞులైన నిపుణుల తరహాలో సమాధానం చెబుతున్నాయి ఈ యంత్రాలు. స్నేహితుడిలా కబుర్లు కూడా చెబుతున్నాయి. (మీరే చూడండి అనుబంధంలో, జెమినితో అడిగి రాయించుకున్న ఓ చిన్న పిల్లల కథను)

ఇలా మనిషిని పోలిన మేధస్సుని యాంత్రికరూపంలో కల్పించగలగడం, ఇంతటి సంక్లిష్టతను యంత్రంలో ఇమిడించగలగడం అద్భుత యంత్రాలకి ఒక మాదిరి పరాకాష్ఠగా చెప్పవచ్చు.



## సరళ పరికల్పనల నుంచి సంక్లిష్ట వ్యవస్థలు ఎలా వస్తాయి ?

ఉత్పాదక కృమే వ్యవస్థల్లాంటి సంక్లిష్ట యంత్రాలు ఉన్నపాతంగా ఎవరో ఊహించి ఏకబిగిన సృష్టిపై ఏర్పడినవి కాదు. వీటిని కంప్యూటరు ప్రోగ్రాములతో నిర్మిస్తారు. సంక్లిష్ట ప్రోగ్రాములనేవి ఒకదానితోటి మరోటి కలిసి పనిచేసే ఉపప్రోగ్రాములుగా అమరి ఉంటాయి. ఈ ఉపప్రోగ్రాములని **అంగాలు** లేక **అవయవాలు** (components) గా వ్యవహరించవచ్చు. ఇలాంటి అంగవిభజన లేకపోయినట్లయితే అంత సంక్లిష్టతనీ ఒక్కటిగా నిర్మించడం అనేది ఊహకి అందదు; ఎలాగోలాగా నిర్మించినా దాన్ని తప్పులూ, దోషాలూ లేకుండా నడిపించగలగడం అసలే కుదరదు. సంక్లిష్ట యంత్రపు **అంతర్గత భావన** (underlying concept) తెలుసుకోవాలంటే ముందుగా మనకు కొరుకుడు పడే **సరళమైన భావనలతో** (simple concepts) మొదలుపెట్టి, అంచెలంచెలుగా, ఒక్కొక్కమెట్టే ఎక్కుతూ, సంక్లిష్టతని పెంచుకుంటూ పోవాలి. ఈ యంత్రాలని నిర్మించాలన్నా, సజావుగా నడిపించాలన్నా, వాటినిగురించిన అవగాహన ఉండాలి; అటువంటి అవగాహనని మానవమాత్రుల ఊహకి అందుబాటులోకి తీసుకొచ్చేవే ఈ మెట్లు.

మనుషులు కృత్రిమంగా తయారుచేసుకునే సంక్లిష్ట వ్యవస్థలు ప్రకృతిలో సంభవించే వ్యవస్థలని పోలి ఉంటాయి. ప్రకృతి వ్యవస్థలూ, మనుషుల అవగాహనలోకి వచ్చేటప్పటికి అంచెలంచెల భావనలుగా అమరి ఉంటాయి. ఉదాహరణకి చీమలని తీసుకుందాం. పుట్టలు నిర్మించుకుని సామూహికంగా జీవించే చీమల సమాజాలు చాలా సంక్లిష్టతని కనబరుస్తాయి: రాణీ చీమ ఏలుబడిలో బారులు తీరి కలిసికట్టుగా ఆహారం తెచ్చుకుంటాయి, పుట్టలో పనులకని విభాగాలుగా ఏర్పడతాయి. ఇతర చీమల సమాజాలతో యుద్ధాలూ చేస్తాయి. ఇంకా ఎన్నెన్నో అబ్బురపరిచే పనులు చేస్తాయి. కానీ ఒక చీమని విడిగా తీసుకుంటే, దానిలో అంత సంక్లిష్టత కనబడదు, అది చీమల సమాజంతో పోలిస్తే చాలా సరళమైన జీవయంత్రం అని చెప్పచ్చు.

మనిషి మేధస్సుని తీసుకుంటే, మెదడులో మనకి కనబడేది సంక్లిష్టంగా అల్లబడిన నాడీకణాల సమూహం. ఒక్క నాడీకణాన్ని విడిగా తీసుకుంటే దాని వ్యవహారపు తీరుతెన్నులు బాగా సరళంగానే ఉంటాయి. కానీ కొట్లాది సరళమైన నాడీకణాలు అల్లికలగానూ, ఉపవ్యవస్థలుగానూ వాటి అంగాంగవిభజనగానూ ఏర్పడి మనిషి మేధని ఆలోచనల నిలయంగా, సంక్లిష్టమైన సమాజాన్ని, దాన్ని నడిపే సంక్లిష్ట యంత్రాలను, యంత్రాంగాలను సృష్టించగలదానిగా తీర్చిదిద్దుతాయి.

చీమల సంక్లిష్టసమాజం ఎలా పనిచేస్తుందో తెలుసుకోవాలంటే, సరళమైన విడి చీమతో మొదలు పెట్టాలి. అలాగే, మనిషి మెదడు పనితీరు తెలుసుకోడానికి **నాడీకణం** (neuron) గురించిన పరిజ్ఞానం పునాది. అలా అని, పెద్దమొత్తంలో చీమలని ఏదోలా పోగు చేసినంతమాత్రాన చీమల సమాజం ఏర్పడుతుందనుకోవడం పొరపాటు. రాణీ చీమకి, సమాజంలో వివిధమైన విధులు విభాగాలుగా ఏర్పడి నిర్వర్తించడానికి వీలుగా ప్రత్యేకరకాల చీమలు పుడతాయి. రాణీ చీమ అనేది కూడా అలాంటి ప్రత్యేకరకపు చీమల్లో ఒకటి. ఆ సమాజం కూడా అంగాంగవిభజన కలిగి ఉంటుంది, ఈ అంగాలన్నీ వాటి వాటి పనులు చేసుకుంటూ, తత్తిమ్మా అంగాలతో లావాదేవీలు పెట్టుకుని, మొత్తం సమాజం అంతా సజావుగా నడిచేలా ఏర్పడతాయి.

నాడీకణానికి మెదడుకీ ఉన్న సంబంధం విడిచీమకీ, చీమలసమాజానికి ఉన్న సంబంధం లాంటిదే. శరీరంలో నాడీకణాల సమూహాలు శ్వాస, ఆహారం జీర్ణం చేసుకోడం లాంటి అసంకల్పిత చర్యలని నడిపించడానికీ, అన్నం తినడం, పైకిలు నడపడం, బంతి ఆడటం లాంటి అలవాటైన పనులని చేయించడానికీ, అదివరకు తెలియని సరికొత్త మేధమెటిక్కు సమస్యని వితర్కించి పరిష్కరించడం లాంటి **ఆధిపత్య విధులని** (executive functions) నెరవేర్చడానికీ, శిల్పాలూ, యంత్రాలూ సృష్టించడానికీ కావాల్సిన సృజనాత్మకతని వెలయించడానికీ, ఇలా రకరకాల కార్యాలకి పనికొచ్చే స్పెషలిష్టులుగా ఏర్పడతాయి. ఆ స్పెషలిష్టులు ఒక్కోటి పరస్పరం పలకరించుకుని, సంభాషించుకుని సహకరిస్తాయి.

చీమల సమాజం పనిచేసే తంతూ, అంతకన్నా మనిషి మేధ పనిచేసే తంతు, అర్థం చేసుకోవాలంటే చాలా కృషి చెయ్యాల్సి ఉంటుందని తెలుస్తూనే ఉంది. అలాగే అదంతా ఒకేసారి ఔపోసన పట్టడం ఎవరి తరమూ కాదు. విడి చీమతోనూ, విడి నాడీకణంతోనూ మొదలెట్టాలి.

ప్రకృతికి చెందిన చీమల సమాజాలు, మానవ మేధ వంటి జీవ వ్యవస్థలు పరిణామ మార్గంలో వేలాది, లక్షలాది సంవత్సరాల వ్యవధిలో పరిమితమైన మార్గాల్లో నడిచే కోట్లాది చిరుమార్పులతో నిగ్గుదేరి, **సహజరీతి ఎన్నిక** (natural selection) జరిగి రూపొందుతాయి. మనిషి సృష్టించే వ్యవస్థల మాటకొస్తే, ఊహాశక్తితో ప్రేరేపించబడి, పైన చెప్పుకున్న మేధోబద్ధమైన సృజనాత్మకతనుంచి ఈ వ్యవస్థలు ఉద్భవిస్తాయి గనక అవి తయారయ్యే మార్గానికి ప్రకృతిపోకడలతో పోలిస్తే పరిమితులు అంతగా ఉండవని అనుకోడం సమంజసం. విద్య, అనుభవం వల్ల సమకూర్చుకున్న అనేకమైన **మౌలికభావకల్పనలని** (elementary concepts) తలపెట్టిన ప్రయోజనానికే అనుగుణంగా సృజనాత్మకంగా అనుసంధించడం ద్వారా **కృత్రిమ సంక్లిష్ట వ్యవస్థలు** (artificial complex systems) రూపొందిస్తారు.

ఉదాహరణకి 1903లో రైట్ సోదరులు (Wright Brothers) తొలిసారిగా విమానం ఎగరేసిన విజయాన్ని తీసుకుందాం. ఈ సోదరులు వృత్తిరీత్యా సైకిలు కార్మికులు. వాళ్లకు రెండుచక్రాల సైకిలు బండి పడిపోకుండా సమతూకంతో (balance) ఎలా నడుస్తుందో అనే అవగాహనే ఉంది. విమానం తయారుచెయ్యడానికి అది సరిపోక పోవచ్చు, కానీ ఆ మొదటి ఊహ, సమతూకం గురించి ఆ సరళమైన భావన అత్యవసరమైన మొదటి మెట్టు. దాని తర్వాత వాళ్ళు **ద్రవ గతి శాస్త్ర సూత్రాల** (principles of fluid dynamics)ను తెలుసుకున్నారు. చిన్న పరిమాణంలో నమూనా విమానాలని తయారు చేయడం నేర్చుకున్నారు. వాజటి రెక్కల ప్రయోజకత్రాన్ని ప్రయోగాత్మకంగా కొలచడానికి **వాయు సొరంగాలని** (wind tunnels) నిర్మించుకున్నారు. ఇలా అంచెలంచెలుగా విమానంలోని ఒక్కొక్క అంగాన్ని, అందులోని ఉపాంగాలని ప్రయోగాలు చేసి, పడుతూ లేస్తూ, పనిచేసిన వాటిని కూడగట్టుకుంటూ, గెలుపు ఓటములను మెట్లుగా చేసుకుని ఓపికతో నిరంతరం శ్రమించారు. ఇటువంటివన్నీ ఈ సోదరుల విజయానికి ఉపయోగపడ్డ మౌలికభావకల్పనలు అని చెప్పవచ్చు.

ఇలాంటి మౌలికభావకల్పనలు సాధారణ స్థాయివారు అర్థం చేసుకోగలిగేలానే ఉంటాయి. ఇవి తెలిస్తే రైట్ సోదరుల మొదటి విమానం Wright Flyer పనితీరు ఓ మోస్తరుగా తెలిసినట్టనిపిస్తుంది. అలాగని సంక్లిష్టమైన ఆధునిక జెట్ విమానం ఎయిర్ బస్ A 380 లాంటిది ఎలా పనిచేస్తుందో, ప్రయాణీకులని సవ్యంగా గమ్యానికి ఎలా చేరుస్తుందో తెలుసుకోడానికి రైట్ సోదరుల 1903 నాటి మౌలిక భావకల్పనా పరిజ్ఞానం సరిపోదు. **జెట్ వాయునౌక**లో (jet airliner) జెట్ ఇంజను, రెక్కలు, **విమాన చట్రం** (airframe), చుక్కాని, వాయుపీడన నియంత్రకం, కమ్యూనికేషన్, ఇలా ఎన్నో ఉపవ్యవస్థలు ఉంటాయి; ఇవి ఒక్కొక్కటి స్వయంగా మళ్ళీ సంక్లిష్టవ్యవస్థలుగా ఉంటాయి ఒక్కొక్కదాన్నీ క్రమపద్ధతిన ప్రయోగాలతో వడపోసి/ నిగ్గుదేర్చి రూపొందించుతారు. జెట్ వాయునౌకలో ప్రయాణీకులని రవాణా చేసే వ్యాపారం ఎడతెగకుండా కొనసాగాలంటే అందుకు తగ్గ ఆర్థిక వ్యవస్థ లేనిదే కుదరదు.

ఈ ప్రకారం, రైట్ సోదరుల సరళ భావకల్పనలకీ, ఆధునిక జెట్ విమాన నౌక అనే సంక్లిష్ట వ్యవస్థకీ చాలా అంతరం ఉంది; అయినప్పటికీ ఒక సంక్లిష్ట యంత్ర నిర్మాణం తొలిదశలలో సరళమైన భావనలతోనే మొదలవుతుందని మనకు తెలుస్తుంది.

సంక్లిష్టమైన త్యాగరాజ పంచరత్న కృతులకు సరళమైన సప్త స్వరాలే మూలము. విశ్వవిజేత స్వైర విహారం చేసే సంక్లిష్టమైన చందరంగం ఆటలో కూడా ఆడేవారందరికీ తెలిసిన పావులను కదిపే సరళమైన నిమయాలే మూలం.

## పరిమిత దశ (పద) యంత్రం: ఉత్పాదక కృత్రిమమేధకి సరళ మౌలికం

పైన చెప్పుకున్నట్లుగా, **ఉత్పాదక కృత్రిమ మేధ** (Generative AI) వ్యవస్థలని ఒక విధంగా సంక్లిష్ట యంత్రాలకి పరాకాష్ఠగా అనుకోవచ్చు. ఇతర సంక్లిష్ట వ్యవస్థల మాదిరిగానే ఈ వ్యవస్థలనీ అర్థం చేసుకోవాలంటే సరళ భావకల్పనలతో ఆరంభించవచ్చు.

అటువంటి సరళభావకల్పనలలో ప్రధానమైనది **జ్ఞాపకశక్తి** (memory). మరోటి **తార్కికశక్తి** (logical ability). ఇంకోటి **అభ్యాస శక్తి** (learning ability). జ్ఞాపకశక్తి అనే దాంట్లో సమాచారాన్ని నిలవచేసుకునే శక్తి, ఆ నిలవున్న సమాచారాన్ని సందర్భానుసరంగానూ, త్వరితంగానూ **స్ఫూర్తికి తెచ్చుకునే శక్తి** (retrieval ability) అవిభక్తంగా మిళితమై ఉంటాయి. ప్రస్తుత పరిస్థితిని బట్టి, ఆ పైన ఏం చెయ్యాలో నిర్ణయించి, ఆ నిర్ణయం ప్రకారం యంత్రాన్ని నడిపేదే తార్కిక శక్తి. ఆ పైన అభ్యాస శక్తి, మనిషి మేధస్సు మాదిరిగానే అందుబాటులోకి వచ్చిన కొత్త సమాచారాన్నీ, పరిజ్ఞానాన్నీ, తప్పుల సవరణలనీ ఎప్పటికప్పుడూ జ్ఞాపకభాండాారంలో కలుపుకుని యంత్రాన్ని మెరుగు స్థాయికి తీసుకు పోతూ ఉంటుంది. ఉత్పాదక కృత్రిమ మేధలో జ్ఞాపకశక్తి విస్తృతంగానూ బలంగానూ ఉంటుంది. **ఉపయోగకర్త** (user)తో అంతవరకూ సలిపిన **సంభాషణలతో** (interactions) పాటు, అంతర్జాల (internet) విశ్వంలో గల సంబంధిత విషయం తాలూకు **అభ్యసిత పరిజ్ఞానాన్ని** (learned knowledge) కూడా స్మరణలోకి తెచ్చుకుంటుంది. ఈ సంభాషణలనీ, పరిజ్ఞానాన్నీ ఆధారంగా తీసుకుని, తనకున్న తార్కిక శక్తిని ఉపయోగించి, ఉపయోగకర్తనుంచి వచ్చిన ప్రస్తుత ప్రశ్నకి సమాధానాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది.

ఉదాహరణకి, సంభాషణ సందర్భంగా, చిన్న పిల్లల కథ ఒకటి చెప్పమని జెమినిని అడిగామనుకోండి. సదరు పిల్లలు ఏ వయసు వాళ్ళు, వాళ్ళ విద్యా తదితర నేపథ్యాలు ఎలాంటివి, అనే విషయాలు ఉపయోగకర్త తానైతేల్చి చెప్పి ఉండకపోయినట్లయితే, ఉపయోగకర్త గత సంభాషణని ఆధారంగా తీసుకుని, జెమిని ఆ వివరాలని అభ్యసిత పరిజ్ఞానంతో ఊహిస్తుంది. ఆ పైన తనకి అందుబాటులో ఉన్న తెలుగు బాలల కథాశిల్పాలూ, కథా వస్తువులూ మొదలైనవి అభ్యసిత పరిజ్ఞానంతోనే సమకూర్చుకుని, వాటి కలయిక ఏ విధంగా ఉంటే ఉపయోగకర్తకి నచ్చుతుందో ఊహించుకుని, ఆ ప్రకారం కథని ఉత్పత్తి చేస్తుంది. ఈ మొత్తం ప్రక్రియలో అభ్యాసమూ, జ్ఞాపకశక్తి, తార్కికశక్తి పరస్పరం సహకరించుకుంటాయి. (అనుబంధంలో కథ చూడండి.)

జ్ఞాపకశక్తి అయినా, తార్కిక శక్తి అయినా, అభ్యాసం అయినా, కంప్యూటరు ప్రోగ్రాం రూపేణా బీజ గణితస్థాయిలో నిర్దిష్టంగా సారూప్యత కలగజేస్తారు. అలా చెయ్యడానికి గణితశాస్త్రబద్ధంగా ఈ శక్తులని నిర్వచించాల్సి ఉంటుంది. ఇటువంటి నిర్వచనాలు కొరుకుడు పడాలంటే పైన చెప్పుకున్న విధంగా సరళమైన మౌలిక భావకల్పనలతో ఆరంభించాల్సి ఉంటుంది. అటువంటి మౌలిక భావకల్పనల్లో ముఖ్యమైనది **పరిమిత దశా యంత్రం** (finite state automaton, ఫైనైట్ స్టేట్ ఆటోమేటాన్), పొడక్ష రాల్లో పద యంత్రం (FSA)<sup>8</sup>. ఇది అభ్యాసాన్ని మినహాయించి, జ్ఞాపకశక్తినీ, తార్కిక శక్తినీ మేళవించే సరళ యంత్రం.

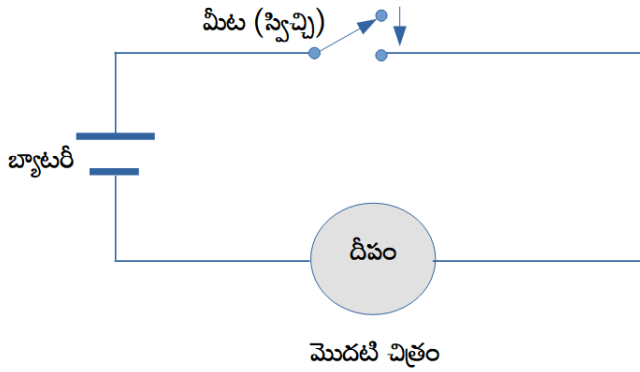
### పరిమిత దశా యంత్రం

పద యంత్రం ఎప్పుడూ చూసినా ఏదో ఒక దశలో ఉంటుంది. (దశలంటే ఏమిటో క్రింది వివరణలో ఉదాహరణపరంగా చెప్పబడింది) ఆ దశలో ఉండగా ఎదురయ్యే ఇన్పుట్‌ని బట్టి, మరే దశకి మారాలో తెలిపే నియమాలు ఉంటాయి. ఆ నియమాల ప్రకారం, ఎదురైన ఇన్పుట్ చూసుకుని మరో దశకి మారడమే పదయంత్రం పని.

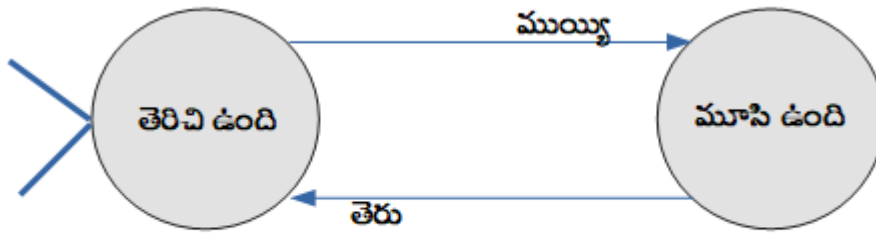
అందరికీ తెలిసున్న **దీపం మీట** (light switch)ని ఒక పదయంత్రంగా మనం భావించవచ్చు. **మొదటి చిత్రంలో** ఒక బ్యాటరీ, ఒక దీపం, వాటిని కలుపుతూ నడుమ స్విచ్‌చిక్‌లిగిన విద్యుత్ వలయం కనబడతాయి. చిత్రంలో బాణం గుర్తు ప్రకారం ఆ స్విచ్‌చి కిందికి

<sup>8</sup> పరిమిత దశా యంత్రం అనే దానికి పొడక్ష రాల్‌తో పదయంత్రం అనే పేరు కుదిరినా, భాషలో వాడే 'పదం' అనేదానికి ఈ 'పద' అనే పేరుకీ ప్రత్యక్ష సంబంధం ఏదీ లేదు. అయితే, ఈ రకం యంత్రాలని సాధారణంగా **యాంత్రిక భాషాగ్రహణం** (machine-based language understanding)లో పద విశ్లేషణలో ఉపయోగిస్తారు; ఇదో సరదా పుట్టించే యాదృచ్ఛికం మాత్రమే.

నొక్కితే (మూస్తే) వలయం పూర్తయి, విద్యుత్తు ప్రవహించి దీపం వెలుగుతుంది. స్విచ్ఛి పై స్థానానికి తెస్తే (తెరిచితే) వలయం భంగం అయి, విద్యుత్తు ప్రవాహం నిలిచిపోయి, దీపం ఆరిపోతుంది.



**రెండవ చిత్రం** స్విచ్ఛి పనితీరుని పదయంత్రం రూపంలో చూపిస్తుంది. స్విచ్ఛి అనే పదయంత్రానికి రెండు దశలు: “తెరిచి ఉంది,” “మూసి ఉంది” అనేవి. “తెరిచి ఉంది” అనే దశలో ఉన్నప్పుడు “ముయ్యి” అనే ఇన్పుట్ వస్తే స్విచ్ఛి పదయంత్రం “మూసి ఉంది” అనే దశలోకి మారుతుంది. ఇప్పుడు “మూసి ఉంది” అనే దశలో “తెరు” అనే ఇన్పుట్ వస్తే, “తెరిచి ఉంది” అనే దశలోకి తిరిగి వెళ్ళిపోతుంది.



### రెండవ చిత్రం: సాధారణ స్విచ్ఛి పదయంత్ర స్వరూపం

ఈ పదయంత్రానికి, భౌతిక స్విచ్ఛికి గల సాపత్యం వేరే చెప్పక్కర్లేకుండానే తెలిసిపోతోంది. అందుక్కారణం ఒకటి మనం బోధనాసౌలభ్యం కోసం అతి సరళమైన సాధారణ స్విచ్ఛిని ఎన్నుకోడమైతే, మరో కారణం మనం ఈ పదయంత్రపు దశలకి తేలికగా తెలిసేలాగా “తెరిచి ఉంది,” “మూసి ఉంది” అనీ, ఇన్పుట్లకి “ముయ్యి,” “తెరు” అని పేర్లు పెట్టుకోడం. నిజానికి ఇలాంటి యంత్రాలు **బీజగణితపు అమూర్త శిల్పాలు** (abstract algebraic structures); వీటిని నేరుగా కంప్యూటరు కోడ్లోకి అనువదించి రాస్తారు. అంచేత ఈ దశలకి, ఇన్పుట్లకి A, B లాంటి అక్షరాలుగానీ, 0, 1, 2 లాంటి అంకెలుగానీ పెట్టుకున్నా గణితపరంగానూ, కంప్యూటరు పరంగానూ ఎలాంటి ఇబ్బందీ ఉండదు.

### అదనపు వసతి: ఔట్పుట్

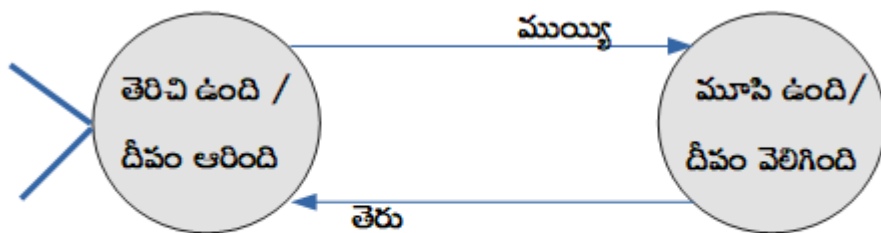
అయితే దీపం మాటేమిటి? పదయంత్రానికి ఒక చిన్న అదనపు వసతిని కలపవచ్చు – ఇన్పుట్ చూసుకుని దశ మారినప్పుడు కావాలంటే ఒక ఔట్పుట్ ని వెలువరించవచ్చు అన్నది. ఇప్పుడు “తెరిచి ఉంది” అనే దశనుంచి “మూసి ఉంది” అనే దశకి మారినప్పుడు “దీపం వెలిగింది” అనే ఔట్పుట్, మళ్ళీ స్విచ్ఛి తెరవబడి, “తెరిచి ఉంది” అనే దశకి చేరినప్పుడు “దీపం ఆరింది” అనే ఔట్పుట్ ఏర్పాటు చేసుకోవచ్చు. చిత్రం 3 లో దశ పేరు తరవాత ఏటవాలు గీత గీసి ఆ దశ చేరినప్పుడొచ్చే ఔట్పుట్ చూపించబడింది.

దీపం స్థానంలో గంటని పెట్టుకుంటే, దీపానికి సంబంధించిన ఔట్ పుట్ ల బదులు “గంట మోగింది,” “గంట ఆగింది” అనే ఔట్ పుట్ లని ఏర్పాటు చేసుకోవచ్చు. స్వచ్ఛి పనితీరు మారదు, దాంతోబాటే స్వచ్ఛిని నిర్వచించే పదయంత్రపు తీరూను.

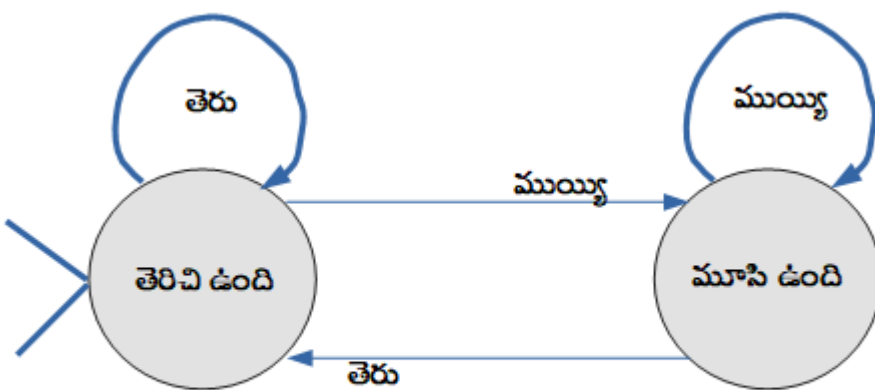
అదనపు వసతి: మార్పు కలిగించని ఇన్ పుట్

మరి “తెరిచి ఉంది” అనే దశలో “తెరు” అనే ఇన్ పుట్ గానీ, అలాగే “మూసి ఉంది” అనే దశలో “ముయ్యి” అనే ఇన్ పుట్ గానీ వస్తే? తెరిచి ఉన్న స్వచ్ఛిని పైకి తోస్తే అది అలాగే తెరిచే ఉండిపోతుందనీ, అలాగే, మూసి ఉన్న స్వచ్ఛిని ఇంకా కిందికి నొక్కితే అది అలా మూసుకునే ఉండిపోతుందనీ మనకి తెలుసు.

రెండవ మూడవ చిత్రాలలో “తెరిచి ఉంది” అనే దశలో “తెరు” అనే ఇన్ పుట్ గానీ, “మూసి ఉంది” అనే దశలో “ముయ్యి” అనే ఇన్ పుట్ గానీ చూపబడలేదు. అంటే ఆయా దశల్లో అయా ఇన్ పుట్ లవల్ల దశ మారదు అని అర్థం. కావాలంటే నాలుగవ చిత్రంలో మాదిరి దశమార్పిడి కలిగించని ఇన్ పుట్ లని సైతం చూపించవచ్చు.



మూడవ చిత్రం: ఔట్ పుట్ లతో సాధారణ స్వచ్ఛి పదయంత్రం



నాలుగవ చిత్రం: సాధారణ స్వచ్ఛి పద యంత్ర స్వరూపం, దశ మార్పిడి లేని ఇన్ పుట్ లతో

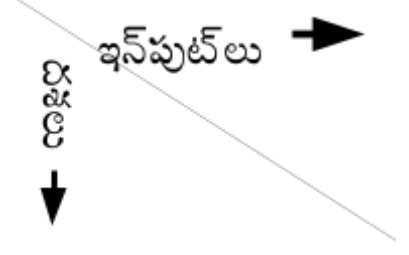


## అదనపు స్వరూప సౌకర్యం: మాత్రికా స్వరూపం

అన్ని దశలలోనూ అన్ని ఇన్‌పుట్‌ల ప్రభావాన్ని—దశ మార్పిడి జరిగినా జరగకపోయినా—సమగ్రంగా పదయంత్రాన్ని చూపించడానికి **మాత్రికా స్వరూపం** (matrix or tabular form) ఒక అనువైన సాధనం. దశలని గుండ్రాలుగానూ, ఇన్‌పుట్‌లని బాణంములికిగల గీతలుగానూ గల బొమ్మగా చూపిస్తూ వచ్చిన 1 నుండి 4వ చిత్రాల పద్ధతికీ, 5వ చిత్రంలోని మాత్రికా స్వరూపానికి సూత్రప్రాయంగా వ్యత్యాసమేమీ లేదు. దశల సంఖ్య పెరిగే కొద్దీ బొమ్మ రద్దీ పెరిగి గజిబిజిగా అనిపించవచ్చు. మాత్రికా స్వరూపమైతే క్రమ పద్ధతిలో పెంచుకుపోవడానికి ఆస్కారం ఉంటుంది.

అయిదవ చిత్రంలో దశలు **అడ్డ వరసలు** (rows)గానూ, ఇన్‌పుట్‌లు **నిలువు స్తంభాలు**గానూ (కాలములు, columns) చూపించబడినాయి. అంటే ఒక్కోవరసా ఒక్కో దశ, ఒక్కో స్తంభం ఒక్కో ఇన్‌పుట్ అన్న మాట. దశల వరసలని పేర్చి, ఎడమచివర్న ఉన్న స్తంభంలో ఒక్కో దశ పేరూ సూచిస్తాము. అలాగే ఇన్‌పుట్‌లని నిలువుగా ఆన్చి, అన్నిటికంటా **పైనున్న వరసలో** (header, తలవరస) ఆ ఇన్‌పుట్ పేరు సూచిస్తాము.

ఇప్పుడు ఉదాహరణకు ఒక్క గడి తీసుకుందాం—మన యంత్రం ఇప్పుడు “మూసి ఉంది” అనే దశ లో ఉందనుకుందాం. అప్పుడు మనం అది ఉన్న వరసని ఎడమ చివరి స్తంభంలో వెతుక్కోవాలి. తర్వాత మనకివ్వబడిన ఇన్‌పుట్ “తెరు” అనుకుందాం. దాని స్తంభాన్ని ఆ వరసలో, “తెరు” అనే తలవరస కింద పట్టుకోవాలి. అందులో “తెరిచి ఉంది” అనే **ఆరోపం** (entry) ఉంది కదా అంటే “తెరిచి ఉంది” అనే దశకి మారాలన్న నిర్దేశం ఉంది. అలాగే ఇతర దశ మార్పు నిర్దేశాలూను.

	తెరు	ముయ్యి
తెరిచి ఉంది	తెరిచి ఉంది	మూసి ఉంది
మూసి ఉంది	తెరిచి ఉంది	మూసి ఉంది

## చిత్రం 5: మాత్రిక (table) స్వరూపంలో సాధారణ స్విచ్చి పదయంత్రం

## జ్ఞాపకశక్తి, తార్కిక శక్తి

సాధారణ స్వీచ్ఛిని చిత్రీకరించే ఈ పదయంత్రం అతి సరళమైనది. అయినా, ఇందులో తాను ఫలానా నిర్దిష్ట దశలో ఉన్నానన్న ఆత్మజ్ఞానం ఇమిడి ఉంది. అదే **జ్ఞాపకశక్తికి అణుస్థాయిమైన మూలాంకం** (an atomic-level element of memory). ఆ ఫలానా దశలో ఉండగా ఫలానా ఇన్పుట్ తారసపడితే ఒక నిర్దిష్టమైన దశకి (ఆ దశ తాను అప్పటికే ఉన్న దశే కావచ్చు) చేరుకోవాలన్న ఆదేశమే **తార్కిక శక్తికి ఓ అణుస్థాయి మూలాంకం** (an atomic-level element of logical processing).

అదనపు వసతి: ఆది దశ, దశలవారి ఇన్పుట్ల మాలికల తరహాలు, శూన్యమాలిక

పదయంత్రం ఒక నిర్దిష్ట దశకి చేరిందంటే దానర్థం అది ఆ దశలో తనని దింపే ప్రత్యేకమైన తరహా **ఇన్పుట్ల మాలికని** (input string) చూసిందన్నమాట. ఈ మాలికకి ఒక మొదలు కలిగించాలంటే ఉన్న దశల్లో ఒకదాన్ని **ఆది దశ** (start state) గా నియమించుకోవాలి. అంటే యంత్రం అమర్చబడినప్పుడు అది ఆ ఆది దశలో జీవితం ఆరంభిస్తుందన్నమాట. స్వీచ్ఛి అమర్చినప్పుడు అది తెరిచి ఉన్నట్టు. చిత్రాలు 2-4 లో దశ తాలూకు గుండ్రానికి ఎడం పక్క > తో సూచించాము. చిత్రం 5 లో ఆది దశని దశ పేరు మొదట్లో “>” గుర్తుతో సూచించాము.

ఔట్పుట్ల వసతి కల్పించాక ఇది మరో అదనపు వసతి. దీని సహాయంతో ఇప్పుడు మనం స్వీచ్ఛి పదయంత్రపు రెండు దశలకి వాటివాటి ప్రత్యేక తరహాల ఇన్పుట్ల మాలికలని జోడించవచ్చు. ఆది దశ అయిన “తెరిచి ఉంది” దశ మాటకొస్తే, “శూన్య” ఇన్పుట్ మాలిక కూడా ఆ దశతో జోడి అయి ఉంటుంది. “శూన్య” ఇన్పుట్ మాలిక అంటే, ఏ ఇన్పుట్ లేకపోయిన పక్షంలో ఆది దశలో ఉన్న పదయంత్రం అక్కడే ఉండిపోతుంది అని అర్థం. ఇలాంటి శూన్య ఇన్పుట్ని గ్రీకు అక్షరం ε (ఎప్పిలాన్) తో సూచిస్తారు. అంకెల్లో సున్నా ఎలాంటిదో, ఇన్పుట్ మాలికల్లో ఎప్పిలాన్ అలాంటిది. ఈ ఎప్పిలాన్ కలుపుకుంటే, మన రెండు దశలతో జోడి అయిన ఇన్పుట్ మాలికలు ఇలా ఉంటాయి:

“తెరిచి ఉంది” దశ: ε, తెరు-తెరు-తెరు- ..., ముయ్యి-తెరు-తెరు-..., తెరు-ముయ్యి-తెరు-తెరు-...

“మూసి ఉంది” దశ: ముయ్యి-తెరు-ముయ్యి-ముయ్యి-..., ముయ్యి-ముయ్యి-ముయ్యి-...,

ఈ మాలికల నమూనాలని గమనిస్తే, “తెరిచి ఉంది” దశకి చేర్చే మాలిక తప్పనిసరిగా ఎప్పిలాన్ (ε) అయినా అయి ఉండాలి, “తెరు” ఇన్పుట్తో ఆఖరయ్యేదయినా ఉండాలి. అలాగే, “మూసి ఉంది” దశకి చేర్చే మాలిక ఎప్పటికీ ఎప్పిలాన్ (ε) అవ్వదు, ఎందుకంటే ఆ దశ ఆది దశ కాదుగనక. ఆ దశ తాలూకు మాలిక తప్పనిసరిగా “ముయ్యి” తో ఆఖరవ్వాలి.

ఇక్కడ మనం మాటవరసకి ఇన్పుట్ మాలిక “తెరు” తోనో, “ముయ్యి” తోనో “ఆఖరవ్వాలి” అంటున్నాగానీ, నిజానికి ఇప్పటిదాకా తయారు చేసుకున్న పదయంత్రం యొక్క ఇన్పుట్ మాలికలకి అంతం అంటూ ఉండదు. ఒకసారి అమర్చుకున్న భౌతిక స్వీచ్ఛిని ఎన్నిసార్లైనా ముయ్యడం, తెరవడం, ఏ క్రమంలోనైనా చెయ్యచ్చు. మనం వాడిన “ఆఖరు ఇన్పుట్” అనే ప్రయోగానికి అసలు అర్థం “ఫలానా దశలోగనక పదయంత్రం ఉందంటే, అప్పటిదాకా కనబడ్డ ఇన్పుట్ మాలికలో చివరి ఇన్పుట్ ఫలానాది” అని. “తెరిచి ఉంది” అనే దశలో ఉన్నామంటే, అప్పుడే ఎప్పిలాన్ (ε) గానీ, “తెరు” చివర్నగల మాలికనిగానీ చూసామన్నమాట. అలాగే “మూసి ఉంది” అనే దశలో ఉన్నామంటే, “ముయ్యి” చివర్నగల మాలికని చూసినట్టు. ఇలా అంతమంటూ లేకుండా సాగిపోగలిగే ఇన్పుట్ మాలికలకు బీజగణితంలో **అపరిమిత (unbounded) మాలికలని** పేరు.

అదనపు వసతి: అంత్యదశ, మిత నిడివి ఇన్పుట్ మాలికలు

దీన్ని బట్టి ఒక ఆలోచన తడుతుంది: స్విచ్చిల్లాంటివాటి పదయంత్రాలయితే సరే, అంతం లేకుండా అలా ఆడుతూ పోవడమే వాటికి తగిన సహజ భౌతిక లక్షణం. మరి వేరే రకం పదయంత్రాల ఇన్పుట్ మాలికలని ఒక నిడివిన తుంచెయ్యగలిగితే—అంటే పైన చెప్పుకున్నట్లు **అపరిమితాలు** కాకుండా **పరిమితాలు** (finite లేక bounded)<sup>9</sup> గా వాటిని చెయ్యగలిగితే—అలాంటి పదయంత్రాలతో సాధించగలిగే ఉపయోగకరమైన ప్రయోజనాలేవైనా ఉంటాయా?

ఇన్పుట్ మాలికని తుంచెయ్యడానికిగాను పదయంత్రపు ప్రణాళికలో ఇప్పుడున్న ఆది దశకి సమంగా అంత్యదశని ప్రవేశపెడితే సరిపోతుంది. పదయంత్రం అంత్యదశకి చేరుకోగానే అక్కడితో ఆగిపోతుంది. అంటే ఆ పైన ఇన్పుట్‌లని పట్టించుకోదు. అంతటితో ఇన్పుట్ మాలిక దానంతటదే తెగిపోతుంది. దాని నిడివి ఈ ప్రకారం పరిమితమవుతుంది. ఆ ఇన్పుట్ మాలికని అంత్యదశకి చేరిన పదయంత్రం **ఆమోదింపబడినది** (accepted) అవుతుంది.

## మరో మెట్టు: ఆమోదక పదయంత్రం (finite state acceptor)

అంత్యదశ కలిగి ఉండి, ఒక **నమూనా** (pattern) కి (క్రింది ఉదాహరణల్లో నమూనాలు అంటే ఎలా ఉంటాయో సూచించబడింది) లోబడే మిత ఇన్పుట్ మాలికని ఆమోదించి ఆగిపోయే పదయంత్రాలతో సరిపోయే ఔపయోగిక యంత్రాలు మనకి నిజజీవితంలో తారసపడుతూనే ఉంటాయి. ఉదాహరణకి:

- పెద్ద అక్షరంతో మొదలై, అక్షరాలూ, అంకెలూ, కనీసం ఒక ప్రత్యేక కారెక్టర్‌గా కలిగి ఉండి, 7 నుంచి 20 కారెక్టర్ల నిడివి కలిగి ఉన్న పాస్‌వర్డుని ఆమోదించే యంత్రం (పాస్‌వర్డు తప్పొక్కే ఒక్కో తేల్చే ముందు ఈ ఆమోద పరీక్ష అవసరం అవుతుంది). ఇక్కడ “ఆదిలో పెద్ద అక్షరం, ఎన్నో కొన్ని అక్షరాలూ, అంకెలూ, ‘#’ లాంటి ప్రత్యేక కారెక్టర్‌లూ ఉండాలి” అనేది ఒక నమూనా. ఇలాగే మరేదైనా నమూనా ఉండవచ్చు.
- కస్తమర్లతో సంభాషించి సంశయాలు తీర్చే బాతాఖానీ యంత్రాలు (చాట్‌బాట్‌లు) కస్తమర్ ప్రశ్నలనీ, వాటిలో పదాలనీ అర్థవంతాలుగా గుర్తించి ఆమోదించి, సంభాషణ ముగిసాక తామూ అంత్యదశకి చేరుకుని, ఆ పైన ఆగిపోతాయి. ఇక్కడ నమూనా, “పరిచయ వాక్యం, ఎన్నో కొన్ని సంభాషణ వాక్యాలు, వీడుకోలు వాక్యం” అనుకోవచ్చు.
- ఒక కథగానీ, కవితగానీ, కొన్ని నిర్ణీత నియమాలని, శిల్పాన్ని పాటిస్తున్నదా లేదా అని ఎలా చెప్పగలం? ఇటీవల మార్కెట్లో లభ్యం అవుతున్న కొన్ని ఉత్పాదక కృత్రిమమేధ పరికరాలు ఒక కథను లేక కవితను తీసుకొని అందులోని పదాలను ఇన్పుట్ మాలికగా గ్రహించి అది నియమబద్ధమైనది అని ఆమోదమో లేక కాదని తిరస్కారమో తెలుపగలుగుతున్నాయి. ఇక్కడ ‘అనగా అనగా’ లాంటి నాందీపదం, ఆ పైన కథగా పనికొచ్చే ఎన్నో కొన్ని తెలుగు పదాల వరస, చివర్న ‘కథ కంచికి’ అనే భరతవాక్యం—ఈ మాలికని నమూనాగా అనుకోవచ్చు.

పై ఉదాహరణలు కాస్త ఎక్కువ తక్కువగా సంక్లిష్టమైన యంత్రాలవి. వాటిని అర్థం చేసుకోవడంలో మొదటి మెట్టైన సరళభావకల్పనగా ఆమోదక పదయంత్రం పనికొస్తుంది.

## ఉదాహరణ: ఉత్పత్తి కథ

కథ ఉదాహరణ తీసుకుంటే, ‘అనగా అనగా’ అనే నాందీ పదానికీ, ‘కథ కంచికి’ అనే భరతవాక్యానికీ మధ్యగా అనుబంధంలో ఇచ్చిన ‘చింటూ కోతి కథ’ లాంటిది ఉంటుందని ఊహించుకోవచ్చు. అలాంటి కథ **మధ్యభాగాన్ని** (body) ఆమోదించగలిగే యంత్రం బాగా సంక్లిష్టంగా, చాలా నియమాలు కలిగి ఉంటుంది. మన బోధనా సౌలభ్యంకోసం నాందీ పదాన్ని, భరతవాక్యాన్నీ ఉంచుకుని,

<sup>9</sup> ఇక్కడ ‘మితం’ అంటే, ‘అమితం కానిది’ అని అర్థం చేసుకోవాలి. అంతేకానీ, ఇన్పుట్ మాలిక ముందస్తుగా నిర్ధారించబడ్డ ఏదో ఒక నిడివి (మాటవరసకి 18 ఇన్పుట్‌ల మాలిక అనుకుందాం) కలిగి ఉంటుందని కాదు. యంత్రం ఇన్పుట్‌లని వరసగా స్వీకరిస్తూ ఎప్పుడో ఒకప్పుడు ఆగిపోతుంది, అప్పటిదాకా స్వీకరించిన ఇన్పుట్‌ల మాలిక అంతు, లేక సీమ కలిగి ఉంటుంది (మితమైనది).

మధ్యభాగపు నియమాలన్నీ తీసేసి, ‘ఏవో తెలుగక్ష రాలుంటే చాలు’ అన్న ‘నియమం కాని నియమాన్ని’ పెట్టుకుందాం. ఇలా కృత్రిమంగా సరళీకరించిన కథ నమూనాని ‘ఉత్తుత్తి కథ’ అందాము.

ఉత్తుత్తి కథ నియమాలు ఈ క్రింది ప్రకారంగా ఉంటాయి::

- “అనగా అనగా” ఇన్‌పుట్‌తో మొదలవ్వాలి.
- “కథ కంచికి” ఇన్‌పుట్‌తో ముగియాలి.
- “అనగా అనగా”కి, “కథ కంచికి”కి మధ్యగా ఒకటికి తగ్గకుండా సంఖ్యలో తెలుగక్ష రాలు ఉండాలి. ఏ అక్ష రాలైనా పరవాలేదు. (ఉత్తుత్తి కథే గనక కథకి అర్థం ఉండాలన్న నియమం లేదు.)

ఆరవ చిత్రం ఉత్తుత్తి కథని గుర్తించి ఆమోదించే ఆమోదక పదయంత్రాన్ని, మాత్రిక స్వరూపంలో చూపిస్తూంది. ఇందులో దశలు నాంది, మధ్య, భరతవాక్యం, తప్పుడు. అవి చెయ్యాల్సిన పనులేవీటో పేర్లే చెపుతున్నాయి. నాంది అనేది ఆది దశ కావటాన్న ఆ పేరు ముందు ‘>’ గుర్తు ఉంది. భరతవాక్యం అనేది అంత్యదశ, అందువల్ల దాని పేరు చివర ‘>’ ఉంది. దానికి మల్లనే తప్పుడు అనేది కూడా అంత్యదశే, పేరు చివర్న ‘>’ కలిగుంది. ఏదైనా దశ ఔట్‌పుట్ పంపే పక్షంలో అది సంబంధిత గడిలో ఏటవాలు గీతకి కుడిపక్కన చూపించబడింది. ‘అవును’, ‘కాదు’ అనే రెండే ఔట్‌పుట్‌లు సాధ్యం.

ఆది దశ ఒకటే ఉంటుంది, అంత్యదశలు మాత్రం ఎన్నైనా ఉండవచ్చు, ఈ ఉదాహరణలో మాదిరి రెండు ఉండవచ్చు: ఒకటి ఆమోదానికి (అవును అనే ఔట్‌పుట్ పంపే భరతవాక్యం దశ), రెండోది తిరస్కారానికి (కాదు అనే ఔట్‌పుట్ పంపే తప్పుడు దశ) పనికొస్తుంది.

ఆమోదకం నాంది దశలో ‘అనగా అనగా’ కాకుండా మరే ఇన్‌పుట్ వచ్చినా తప్పుడు దశలోకి వెళ్ళిపోయి, ‘కాదు’ అనే ఔట్‌పుట్ పంపుతుంది. ఆ పైన ఆగిపోతుంది. ‘అనగా అనగా’ వస్తే మధ్య దశలోకి వెళ్ళి, ఆ పైన తెలుగక్ష రాలు ఎన్నొచ్చినా అన్నిటినీ భక్షిస్తూ అదే దశలో ఉండిపోయి, ‘కథ కంచికి’ ఇన్‌పుట్ కోసం ఎదురు చూస్తూంటుంది. ఈ దశలో ‘అనగా అనగా’ గనక వచ్చినట్లయితే, తప్పుడు దశలోకి వెళ్ళిపోయి, ‘కాదు’ అనే ఔట్‌పుట్ పంపి అంతటితో ఆగిపోతుంది. రావాల్సిన ‘కథ కంచికి’ వస్తే భరతవాక్యం దశకి వెళ్ళి, ‘అవును’ అనే ఔట్‌పుట్ పంపుతుంది.

	అనగా అనగా	తెలుగక్షరం ఏదైనా	కథ కంచకి
>నాంది	మధ్య	తప్పుడు / కాదు	భరతవాక్యం> / కాదు
మధ్య	తప్పుడు / కాదు	మధ్య	భరతవాక్యం> / అవును
భరతవాక్యం>	భరతవాక్యం>	భరతవాక్యం>	భరతవాక్యం>
తప్పుడు>	తప్పుడు>	తప్పుడు>	తప్పుడు>

**చిత్రం 6:** ఉత్పత్తి కథ ఆమోదక పదయంత్రం, మాత్రిక స్వరూపం

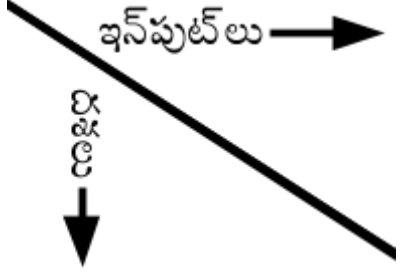
**మరో మెట్టు:** ఉత్పాదక పదయంత్రం (finite state generator)

ఇన్పుట్ గా వచ్చిన కథనం చదివి, అది కథగా ఆమోదయోగ్యమో కాదో తేల్చి చెప్పే ఆమోదక పదయంత్రాన్ని తిరగేసి వాడి, దానిచేత కథని ఉత్పత్తి చేయించడమూ సాధ్యమే. ‘అవును’, ‘కాదు’ అనే ఔట్పుట్లు పంపే బదులు ఆమోదకంలో ఇన్పుట్లుగా పనిచేసే కథనా శకలాలనే ఔట్పుట్లుగా పంపే విధంగా ఆమోదకాన్ని ఉత్పాదకంగా మార్చుకోవచ్చు.

**ఉదాహరణ:** ఔట్పుట్ గా ఉత్పత్తి కథ

ఏడవ చిత్రం ఉత్పత్తి కథని ఔట్పుట్ గా పంపే విధంగా మన ఆమోదకాన్ని ఉత్పాదకంగా మార్చి చూపిస్తోంది. ఈ ఉత్పాదకాన్ని నడిపించడానికిగాను ‘ఇంకా కథ ఉంది’, ‘కథ అయిపోయింది’ అనే రెండు ఇన్పుట్లని పెట్టుకుందాము. (వీటిని కథలని అర్థం చేసుకోగలిగే ఏదో సంక్లిష్టయంత్రం పంపుతుందని అనుకోవాలి, అదీ బోధనా సౌలభ్యంకోసమే.)

నాందితో మొదలెట్టి, ‘ఇంకా కథ ఉంది’ ఇన్పుట్ వస్తే, ‘అనగా అనగా’ ఔట్పుట్ పంపి, మధ్య దశలో, ‘ఇంకా కథ ఉంది’ అనే ఇన్పుట్ అందుతున్నంత సేపూ కథనాన్ని ఔట్పుట్ గా పంపుతూ అదే మధ్య దశలో ఉంటుంది. ‘కథ అయిపోయింది’ ఇన్పుట్ అందగానే ‘కథ కంచకి’ ఔట్పుట్ పంపి, భరతవాక్యం అంత్యదశలోకి వెళ్లి ఆగిపోతుంది. ఆ దశలో మరి ఎటువంటి ఇన్పుట్ వచ్చినా అది ‘తప్పు’ అని ఔట్పుట్ పంపి, అదే దశలో ఉండిపోతుంది. (ఆ దశలోకి చేరాక యంత్రం పూర్తిగా ఆగిపోయింది అని కూడా అనుకోవచ్చు)

	ఇంకా కథ ఉంది	కథ అయిపోయింది
>నాంది	మధ్య / <b>అనగా అనగా</b>	భరతవాక్యం>
మధ్య	మధ్య / తెలుగక్షరం ఏదైనా	భరతవాక్యం> / <b>కథ కంచికి</b>
భరతవాక్యం>	భరతవాక్యం> / <b>తప్పు</b>	భరతవాక్యం> / <b>తప్పు</b>

**చిత్రం 7:** ఉత్తుత్తి కథ ఔట్పుట్ గా పంపే ఉత్పాదక పదయంత్రం, మాత్రిక స్వరూపం

## పదయంత్రానికి ఉత్పాదక కృత్రిమ మేధకీ మధ్య అంతరం

చాలా సంక్లిష్టమైన ఉత్పాదక కృత్రిమమేధ యంత్రాలని తెలుసుకునే యత్నం చాలా సరళమైన పదయంత్రాన్ని తొలి మెట్టుగా తీసుకుని మొదలు పెట్టాము. సూత్రప్రాయంగా ఇలాంటి పదయంత్రాలని పెద్దఎత్తున మోహరించి ఉత్పాదక కృత్రిమమేధయంత్రం లాంటిదేదో తయారు చెయ్యచ్చేమో అని అనిపించవచ్చు. కానీ అది ఆచరణీయం కాదు. అంత ఎత్తున కోట్ల సంఖ్యలో పదయంత్రాలని తయారు చేసి, నడిపించి నియంత్రించడం **స్కేలింగు** (scaling) కోవ సమస్యలని ముందుకు తెచ్చి ఈ పనిని దాదాపు అసాధ్యం (కాకపోయినా ఆర్థికంగా ఎవరూ మోయలేని భారం అవుతుంది) అయేటట్లు చేస్తుంది.

స్కేలింగ్ అంటే? నలుగురికి వంట చెయ్యడం సులభం. కానీ ఏ నలభై మందికో, నాలుగు వేల మందికో చెయ్యమంటే వచ్చే సమస్యలకు **స్థాయి పెంచటం** (scaling) సమస్యలని పేరు.

ఇదే కాకుండా పదయంత్రాలు జ్ఞాపకశక్తిని, తార్కికశక్తిని చిన్న ఎత్తున సాధించగలవుగానీ, అభ్యాస శక్తికి ఇవి పనికి రావు. పదయంత్రాలతో ఉత్పాదక కృత్రిమ మేధని సాధించాలంటే, అభ్యాసశక్తిని అందించే వేరే సంక్లిష్ట యంత్రాలను తప్పనిసరిగా వాడవలసి ఉంటుంది.

ఇరవయ్యో శతాబ్దం తుదిభాగంలో అభివృద్ధి చెయ్యబడి, ప్రస్తుతయుగంలో బాగా వాడుకలోకి వచ్చిన **కృత్రిమ నాడీ కణజాలాలు** (artificial neural networks) అభ్యాసశక్తిని, జ్ఞాపకశక్తిని, తార్కికశక్తిని, పనికొచ్చే తీరుగా మేళవించగలుగుతున్నాయి. స్కేలింగు కోవ సమస్యలు కూడా నిభాయించుకోగలిగే స్థాయిలోనే ఉంటున్నాయి.

కృత్రిమ నాడీ కణజాలాలూ పదయంత్రాల మాదిరిగానే అమూర్త బీజగణిత శిల్ప స్వరూపాలు; కానీ వీటి సంక్లిష్టత పదయంత్రాలతో పోలిస్తే చాలా ఎక్కువ. వీటితో తలపడటానికి పదయంత్రాలే మొదటి మెట్టు.



నూటపాతికేళ్ళనాడు రైట్ సోదరులు అందుబాటులో ఉన్న సరళభావకల్పనలతో ఆరంభించి, శ్రద్ధ పెట్టి, శ్రమకోర్చి, ఓటములను పాఠాలుగా తీసుకుని ఒక్కొక్క మెట్టే ఎక్కి విమానయానానికి నాంది పలికారు. అదే మార్గాన్ని అవలంబించిన అనేక తరాల ఇంజనీర్లు కృషిచేసి, ఆధునిక జెట్ విమాననౌకల సంక్లిష్టతని జయించి, అద్భుతయంత్రాలని అతిసాధారణాలు అనిపించేలా వెలయించారు.

వాటికన్నా ఎన్నో రెట్లు సంక్లిష్టాలనదగిన ఉత్పాదక కృత్రిమమేధ పరికరాలయినా అంతే, వాటినీ ఎవరికి నప్పినరీతిలో వాళ్ళు అర్థం చేసుకోవడానికి అధిగమించలేని అడ్డంకులేమీ లేవని - సూత్రప్రాయంగానైతేనేమి - చెప్పవచ్చు. ప్రస్తుత వ్యాసంలో ఆ యంత్రాల గురించిన అవగాహన సాధించడానికి కావలసిన మొదటి మెట్టు చూసాము. చాలా సరళమైన స్విచ్చితో మొదలెట్టి, పద యంత్రానికి చిన్న ఎత్తున అదనపు వసతులని ఒకటొకటిగా కూర్చి, యంత్ర సంక్లిష్టతనీ, దాని ప్రయోజనాల పరిధినీ - చాలా చిన్న ఎత్తులోనైతేనేమి - విస్తరించగలగడం చూసాము. ఆకాశహర్యనిర్మాణం లాంటి యత్నానికి ఇదొక చిన్న పునాదిరాయి.

## అనుబంధం: జెమినీ చెప్పిన కథ

**ఉపయోగకర్త:** ఓ చిన్న పిల్లల కథ చెప్పు.

**జెమినీ:**

**అనగాఅనగా** ఒక ఊరిలో ఒక బుజ్జి కోతి ఉండేది. దాని పేరు చింటూ. చింటూ చాలా అల్లరిది, ఎప్పుడూ ఒకచోట ఉండకపోయేది. ఒకరోజు అది అడవిలో తిరుగుతూ ఉన్నప్పుడు, దాని కాలికి ఒక ముల్లు గుచ్చుకుంది.

ఆ నొప్పి భరించలేక చింటూ "అయ్యో! నా కాలికి ముల్లు గుచ్చుకుంది, ఎవరైనా సాయం చేయండి!" అని అరుస్తూ ఒక మంగళి దగ్గరికి వచ్చింది. మంగళి కోతిని చూసి జాలిపడి, దాని కాలిలో ఉన్న ముల్లను మెల్లగా తీసేశాడు. ముల్లు తీసిన తరువాత, చింటూ మంగళికి కృతజ్ఞతలు చెప్పి, అక్కడినుండి వెళ్ళిపోతూ మంగళి కత్తిని తీసుకుని పారిపోయింది.

కొంత దూరం వెళ్ళాక, అది ఒక వడ్రంగిని చూసింది. ఆ వడ్రంగి తన పని చేసుకుంటూ ఉన్నాడు. చింటూ ఆ వడ్రంగితో, "నా దగ్గర మంచి కత్తి ఉంది, నీ కత్తితో దీనిని మార్చుకుంటావా?" అని అడిగింది. వడ్రంగి సంతోషంగా ఒప్పుకుని తన పనిముట్లు ఇస్తుంటే, చింటూ తన కత్తిని అక్కడే వదిలేసి, వడ్రంగి పనిముట్లు తీసుకుని పారిపోయింది.

మళ్ళీ కొంతదూరం వెళ్ళాక, ఒక అమ్మాయి బొమ్మల పెళ్ళి చేస్తున్నది. చింటూ ఆ అమ్మాయిని చూసి, "నా దగ్గర మంచి పనిముట్లు ఉన్నాయి, నీ బొమ్మలతో వీటిని మార్చుకుంటావా?" అని అడిగింది. ఆ అమ్మాయికి బొమ్మల పెళ్ళికి పనిముట్లు కావాలి కాబట్టి, సంతోషంగా మార్చుకుంది. చింటూ బొమ్మలను తీసుకుని పారిపోయింది.

ఇలాగే చింటూ ఒక దాని తర్వాత ఒకటి తీసుకుని మార్చుకుంటూ పోయింది. చివరగా అది ఒక పక్షి దగ్గరికి వచ్చింది. ఆ పక్షి ఒక చిన్నపాట పాడుతూ ఉన్నది. చింటూ ఆ పక్షితో "నీ పాటతో నా బొమ్మలను మార్చుకుంటావా?" అని అడిగింది.

పక్షి పాడటం మానేసి, "నా పాట డబ్బుల కోసం కాదు, కేవలం సంతోషం కోసమే" అని చెప్పింది. అప్పుడు చింటూ తన తప్పు తెలుసుకుంది. తను చేసిన అల్లరి వల్ల ఎవరికీ సంతోషం కలగలేదని అర్థం చేసుకుంది. వెంటనే చింటూ, తాను తీసుకున్న వస్తువులన్నీ వాటి యజమానులకు తిరిగి ఇచ్చేసింది. అప్పటి నుండి చింటూ అల్లరి చేయడం మానేసి, అందరితో స్నేహంగా మెలిగింది.

నీతి: అల్లరి పనుల వల్ల వచ్చే లాభం ఏమీ ఉండదు. మంచిగా ఉంటేనే అందరూ ప్రేమిస్తారు.

**కథ కంచికి.**

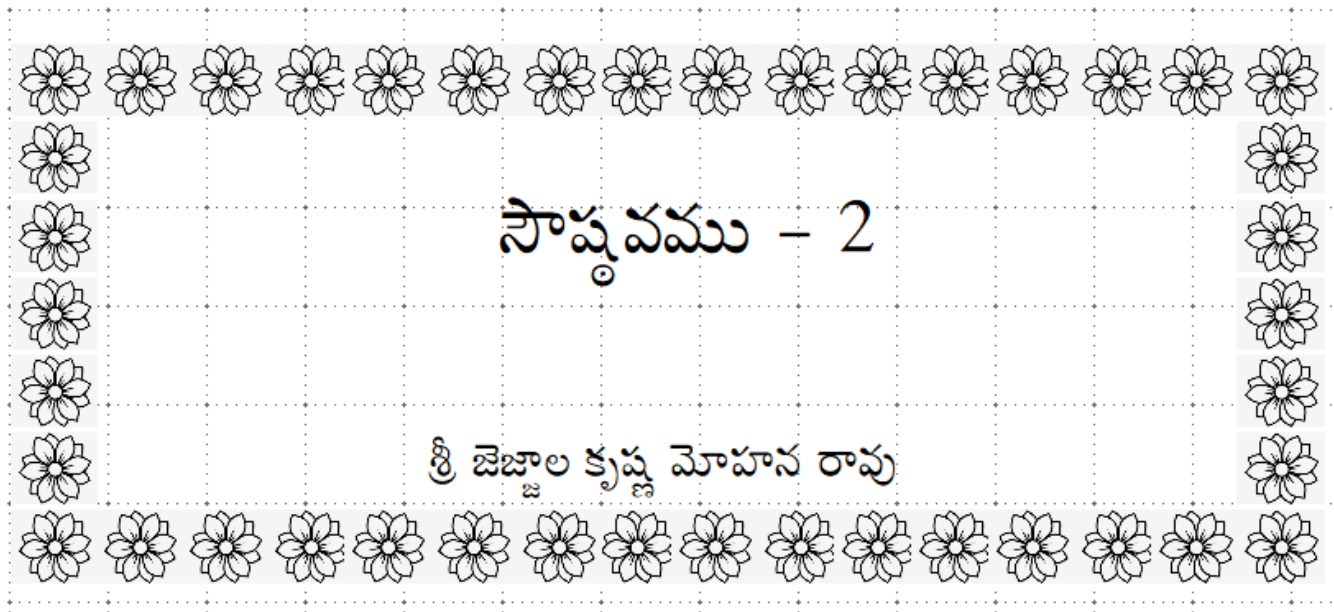
\* \* \*

=====

శ్రీ కొచ్చెర్లకోట బాపారావు గారు ఐ టి మద్రాస్ నుండి ఎలక్ట్రానిక్స్ ఇంజనీరింగులో పట్టభద్రులు. అమెరికాలో దక్షిణ కాలిఫోర్నియా విశ్వవిద్యాలయంలో Ph.D. పొందారు. వృత్తిరీత్యా కంప్యూటర్ సాఫ్ట్వేర్ ఇంజనీరు. విద్యాబోధన, చరిత్ర, సంస్కృతి, సారస్వతం వీరి అభిరుచులు. ప్రస్తుత నివాసం కాలిఫోర్నియా రాష్ట్రంలోని లాస్ ఏంజలీస్ నగరంలో.

=====



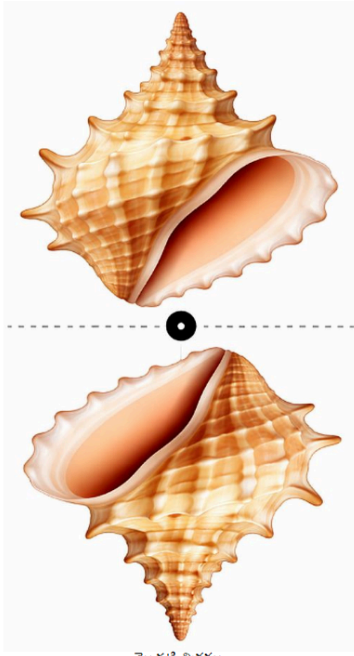


**పరిచయము:** ఈవ్యాసములో నేను సౌష్ఠవపు మూలాంకములను (symmetry elements) గురించి చర్చిస్తాను. అవి (1) స్థలాంతర లేక స్థానాంతర పరివర్తన సౌష్ఠవము (translation symmetry), (2) విలోమ సౌష్ఠవము (inversion symmetry), (3) భ్రమణ సౌష్ఠవము (rotation symmetry), (4) దర్పణ సౌష్ఠవము (mirror symmetry).

**(1) స్థలాంతర లేక స్థానాంతర పరివర్తన సౌష్ఠవము:** ఒక వస్తువు లేక రూపము పదేపదే ఒక నియమితమైన దూరములో ఉన్నప్పుడు ఇది సంభవిస్తుంది. ఇది ఒక మైలురాయి వంటిది. మైలురాళ్ల మధ్య నియమితమైన దూరము ఒక మైలు. అలాగే దేవాలయ మంటపములలో స్తంభములకు మధ్య దూరము కొన్ని అడుగులు ఉంటుంది. సైన్యములో కవాతు చేసే సైనికులు ఒకరి వెనక మరొకరు ఒక నిర్ణీత దూరములో నిలిచి ఉండుట కూడ ఇట్టి స్థలాంతర పరివర్తనమే. వాళ్ల మధ్య దూరము బహుశా మూడడుగులు ఉండవచ్చును. వాళ్లు ఒక్కొక్కప్పుడు ఐదాడుగురు భారులుగా నడుస్తుంటారు. ఇక్కడ రెండు దిశలలో స్థలాంతరము గలదు: ఒకరి వెనక ఒకరికి, ఒకరి పక్కన ఒకరికి. దేవాలయములోని స్తంభాలు, మైలు రాళ్లు అనంతము కావు. వాటిని మనం లెక్క పెట్టవచ్చును. అవి చిన్న సంఖ్యయే. కాని స్ఫటికములలో ఇది  $10^{23}$ ! ఉదాహరణముగా మనము సామాన్యముగా వాడే ఉప్పు (Sodium Chloride) స్ఫటిక రూపములో ఉన్నప్పుడు ఒక సెంటీమీటర్ పరిమాణపు ఉప్పులో సుమారు ఇరవై

మిల్లియనుల స్థలాంతర పరిమితులు ఉంటాయి. ఉప్పులో ఇది మూడు దిశలలో అనగా  $x, y, z$  దిశలలో ఉంటాయి.

**(2) విలోమ సౌష్ఠవము:** విలోమము అంటే తలక్రిందులవడము. అనగా ఒక వస్తువు లేక ఒక ఆకృతి పూర్తిగా తలక్రిందులవుతుంది. అనగా అందులోని ప్రతి బిందువు యొక్క **నిర్దేశాంకములు** (coordinates)  $x, y, z$  ఈ విలోమము ద్వారా  $-x, -y, -z$  అవుతాయి. ఈమూడు **ఋణ చిహ్నాలు** (minus signs) గుణకార లబ్ధము (product)  $-1 \cdot -1 \cdot -1 = -1$  అవుతుంది.  $x, y, z$  లకు ఇట్టి గుణకార లబ్ధము  $1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$ . ఈ విలోమ సౌష్ఠవ ప్రయోగము వలన మనము మొదట తీసికొన్న ఆకారపు హస్తత్వము (handedness) మాటుతుంది. అనగా కుడి యెడమలు మారిపోతాయి. **మొదటి చిత్రములో** ఒక శంఖము, విలోమ సౌష్ఠవ ప్రయోగము ద్వారా కలిగిన దాని ప్రతిరూపము చూపబడినది. విలోమకేంద్ర బిందువును కూడ చూడండి. బిందువు పరిమాణము శూన్యము (zero).

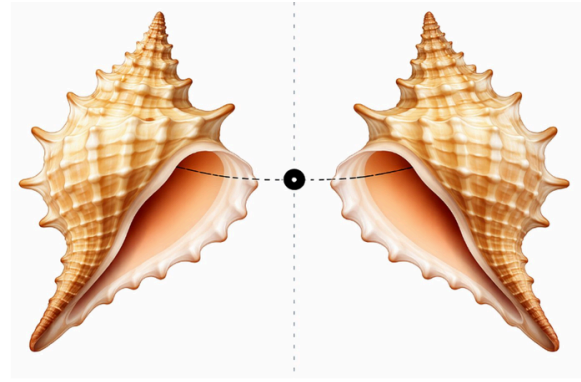


మొదటి చిత్రము

(3) భ్రమణ సౌష్ఠ్యము: భ్రమణము అనగా తిరగడము, త్రిప్పడము. అనగా ఒక వస్తువు లేక ఆకృతి ఒక నిర్దిష్టమైన కోణము (particular angle) ద్వారా ఒక అక్షము (axis) చుట్టు తిరుగుతుంది. ఈ అక్షము ఒక రేఖ లేక గీత. దీని పరిమాణము ఒకటి. ఒక బిందువు యొక్క నిర్దేశాంకములు  $x$ ,  $y$ ,  $z$  అనుకొందాము. దానిని  $z$ -అక్షము చుట్టు 180 డిగ్రీలు తిప్పితే దాని నిర్దేశాంకములు  $-x$ ,  $-y$ ,  $z$  అవుతుంది. దీనికి గుణకార లబ్ధము  $-1$ ,  $-1$ ,  $1$ . అనగా భ్రమణ సౌష్ఠ్యము ద్వారా హస్తతత్వము మారదు. మొదట తీసికొన్న ఆకారపు హస్తతత్వము లేక కుడి ఎడమలు ఈ భ్రమణ సౌష్ఠ్య ప్రయోగము ద్వారా మారదు. ఇది చాల ముఖ్యమైన అంశము. హస్తతత్వము ఉండే హిమోగ్లోబిను, ఇన్సులిను వంటి ప్రోటీనుల స్పటిక రూపములకు, డిఎన్ఎ వంటి జన్యుకణముల స్పటిక రూపములకు ఎల్లప్పుడూ భ్రమణ సౌష్ఠ్యము మాత్రమే ఉండును. విలోమ సౌష్ఠ్యము గానీ, దర్పణ సౌష్ఠ్యము గానీ ఉండదు.

**రెండవ చిత్రములో** 180 డిగ్రీలతో చుట్టిన శంఖమును చూడ వీలగును. ఇందులో నిలువు గీత  $y$  అక్షము, దానికి లంబముగా కాగితములో  $x$  అక్షము, కాగితమునకు లంబముగా మన వైపు వస్తున్నట్లుగా  $z$  అక్షము. ఇప్పుడు  $y$  అక్షము చుట్టు 180 డిగ్రీల భ్రమణము చేస్తే, ఆ భ్రమణము వలన  $y$  నిర్దేశ అంకము ( $y$  coordinate) మారదు.

$(x, z) \Rightarrow (-x, -z)$  అవుతుంది.

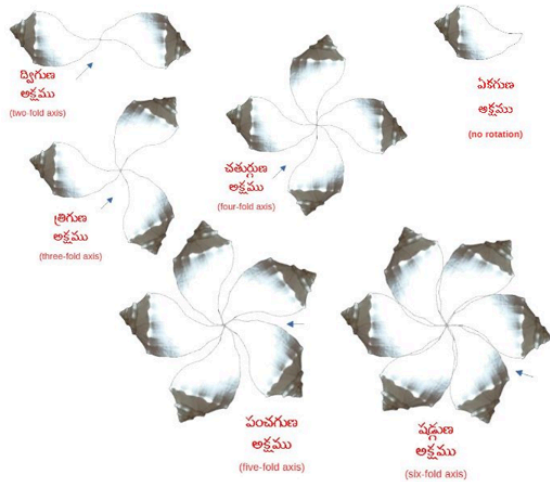


రెండవ చిత్రము

భ్రమణమునకు కావలసినవి రెండు; అవి: (1) భ్రమణ అక్షము (rotation axis), (2) భ్రమణ కోణపు విలువ (angle of rotation). ఒక రూపమును తీసుకొని, ఒక అక్షము చుట్టు భ్రమణ కోణమంత తిప్పినప్పుడు (భ్రమణము), ఒక ఆకారం వస్తుంది. ఆ రూపానికి ఉన్న ఆకారముల సంఖ్య ఆ అక్షపు మడతను (fold) తెలుపుతుంది. 60 డిగ్రీల భ్రమణ కోణానికి అక్షపు మడత విలువ  $360/60 = 6$  అవుతుంది. ఒకవేళ భ్రమణ కోణం 180 డిగ్రీలయితే, అప్పుడు అక్షపు మడత విలువ  $360/180 = 2$  అవుతుంది. అదే విధంగా, అక్షపు మడత విలువ 4 కావాలనుకుంటే, 360 సంఖ్యను అక్షపు మడత విలువతో భాగహారము చేసినప్పుడు మనకు భ్రమణ కోణపు విలువ లభిస్తుంది. ఆ కోణముతో 360 డిగ్రీలు చేరేవరకు ఆ ఆకారమును తిప్పుతూ ఉండాలి. రెండు మడతల అక్షానికి ద్విగుణ అక్షమని పేరు. అలాగే, మూడు మడతలకు త్రిగుణ. అలాగే, చతుర్గుణ, పంచగుణ, షడ్గుణ, సప్తగుణ, అష్టగుణ అక్షములు.

ఉదాహరణముగా ఒక రూపమును లేదా వస్తువును షడ్గుణ-అక్షము ( $360/6 = 60$ ) ద్వారా తిప్పవలెనని అనుకొంటే మనము ముందు 60 డిగ్రీలు తిప్పాలి, తర్వాత 60, ఇలా తిప్పుకుంటూ 360 వచ్చేదాకా 6 సార్లు తిప్పాలి. ఇలా చేసినప్పుడు ఇందులో 120, 180 వగైరా డిగ్రీల భ్రమణములు అనగా ద్విగుణ-అక్షము, త్రిగుణ-అక్షములు కూడ ఉన్నాయని గమనించాలి.

**మూడవ చిత్రములో** ఒక శంఖమును తీసికొని దానిని 1 నుండి 6 వరకు గల భ్రమణాక్షములకు జనించిన ఆకృతులను చూపినాను. ప్రకృతిలో నాలుగు, ఐదు, ఆఱు రేకుల పూవులను చూస్తుంటాము. ఎనిమిది చేతులు ఉండే జలచరము అష్టపది కి (octopus), పూజలలో ఉపయోగించే చేక్రములలో కూడ ఇటువంటి సౌష్ఠ్యము ఉన్నది. పరిశీలించండి.



మూడవ చిత్రము

(4) దర్పణ సౌష్ఠ్యము: దర్పణము అంటే అద్దము. ఒక వస్తువు లేక ఆకృతి, దాని ప్రతిబింబము రెండు ఒకే చోట ఉంటే అప్పుడు వాటికి దర్పణ సాదృశ్యము ఉన్నదని అంటాము. మనము నిత్యము తల దువ్వుకొనేటప్పుడు చూచే అద్దము కాదిది. అందులోని ప్రతిబింబము నిజమైనది కాదు. ఈదర్పణ సౌష్ఠ్యమునందలి బింబ ప్రతిబింబాలు రెండు నిజమైనవే. అందువలన అక్కడ అద్దములాటిది ఉందని భావిస్తాము. ఈ దర్పణము ఒక **తలము**పైన (plane or surface) ఉంటుంది. అది దర్పణ తలము. దీని పరిమాణము రెండు. ఒక దర్పణము xy-తలములో ఉన్నదనుకొందాము. దాని ముందు ఉన్న వస్తువునకు, దాని ప్రతిబింబమునకు ఉండే తేడా z నిర్దేశాంకములో మాత్రమే. రెండింటికి x, y లు ఒక్కటే. అనగా బింబ ప్రతి బింబముల నిర్దేశాంకములు ఈవిధముగా మారుతాయి.  $(x, y, z) \Rightarrow (x, y, -z)$ .  $(x, y, -z)$  కు గుణకార లబ్ధము 1. 1. -1 = -1. విలోమ ప్రయోగము వలెనే ఇక్కడ కూడ హస్తతత్వము మారినది. అనగా కుడి యెడమ అయినది, ఎడమ కుడి ఐనది.

**నాలుగవ చిత్రములో** నా దగ్గర ఉండే శంఖములతో (conch) ఈ దర్పణ సాదృశ్యమును చూపినాను. ఇందులో చిత్రము పైన ఎడమ భాగములో నిలువుగా వీటిని చూపినాను. కుడి భాగములో ఆ శంఖములను పడుకోబెట్టి, వెనుక నుండి చూచుచున్నట్లుగా అమర్చినాను. క్రింది చిత్రములో అవి శంఖ ద్వారములు క్రింద ఉండేటట్లు చూపబడినవి. మూడు చిత్రాలలో ఎడమవైపు ఉండు శంఖమును sinistral లేక **దక్షిణావర్తము** అంటారు. కుడివైపు ఉండు శంఖమును dextral లేక **ఉత్తరావర్తము** అంటారు. ప్రకృతిలో

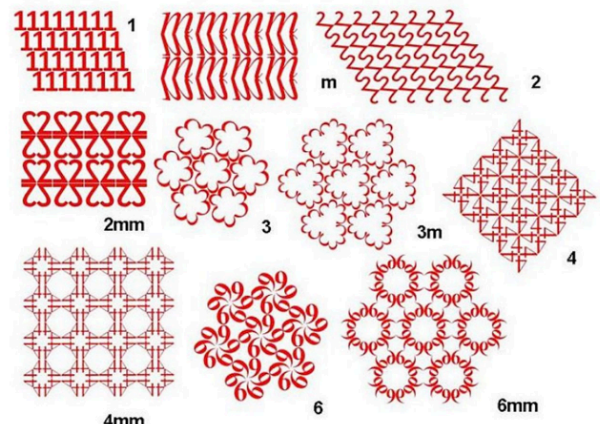
సామాన్యముగా ఉత్తరావర్త లేక dextral శంఖములే ఎక్కువ (99%). దక్షిణావర్త శంఖములు లేక వలమురి శంఖములు చాల అరుదు. అందుకే వాటిని పవిత్రమైన చోటులలో, పూజలలో, దేవాలయములలో వాడుతారు.



Sinistral (దక్షిణావర్త) and dextral (ఉత్తరావర్త) versions of a conch

నాలుగవ చిత్రము

**ఐదవ చిత్రములో** 1, 2, 3, 4, 6 గుణాంకముల అక్షముల అమరికను సమతల పరిమాణమునకు సరిపోయేటట్లు చూపినాను. ఇందులోని ముఖ్యాంశము ఏమనగా, అక్ష పు మడతల విలువ సంఖ్యనే దానిని వివరించుటకు ఉపయోగించినాను. చిత్రములో m అంటే mirror లేక దర్పణము అని అర్థము.



ఐదవ చిత్రము

ఈ చిత్రములోని వివరములను రాబోయే వ్యాసములో చర్చిస్తాను.

**గడచిన సంచికలో అడిగిన ప్రశ్నలకు జవాబులు:** అందులోని రెండవ చిత్రములోని కుడి భాగమునకు దర్పణ సాదృశ్యము గలదు. తొమ్మిదవ చిత్రములో ఎడమ భాగములో ఉండే సౌష్ఠ్యము కేవలము **స్థలాంతర పరివర్తనము** (translation)



మాత్రమే. అందులో ఒక చిత్రము ఏమంటే ఏచోటు కూడ ఖాళీ లేదు. ఇట్టి చిత్రములను tessellations అంటారు. tessellation కు నా తెలుగు అనువాదము సంపూర్ణ ఆచ్ఛాదిత సమతలము. అనగా సమతలమంతయు ఒక్క చోటు విడువక దేనితోనైనను కప్పబడినది అని అర్థము. ఇట్టివి నిర్మించుట ప్రయాసతో కూడిన పని. ఇందులో అందె వేసిన చేయి Maurice Escher. కుడివైపు పైన ఉండే చిత్రము కూడ ఒక tessellation. రంగులను ఒక నిమిషము మఱచి పోదాము. అప్పుడు ఇందులో y-అక్షము ఒక **ద్విగుణ-అక్షము** (two-fold axis). అంతే కాక ఈ 180 డిగ్రీల భ్రమణముతోబాటు ఒక స్థల పరావర్తనము (translation) కూడ ఉన్నది. అలాగే

yz-సమతలమును ఒక దర్పణముగా భావిస్తే, దర్పణ సాదృశ్యము, దానితోబాటు ఒక స్థల పరావర్తనము అని కూడ తలంచ వీలగును. తొమ్మిదవ చిత్రములో కుడివైపు క్రింది భాగము చతుర్గుణ-అక్షమునకు ఒక ఉదాహరణము. ఇందులో Love- Hope-Peace-Joy అనే పదాలు ఉన్నాయి ఆంగ్లములో. పదవ చిత్రములో తెలుగు పదమునందలి తె-అక్షరమునకు 90 డిగ్రీల భ్రమణమును పదేపదే ఇచ్చి తె-అక్షరమును స్పష్టిక ఆకారములో నిర్మించినాను.

**ముగింపు:** ఈవ్యాసములో మౌలిక సౌష్ఠవాంశములను గురించి చర్చించినాము. వీటితో ఇంకేమేమి చేయ వచ్చునో అన్న విషయము తఱువాతి వ్యాసములో.

[ మొదటి రెండు చిత్రాలు chatGPT సౌజన్యం, మూడవ నాలుగవ బొమ్మలు రచయిత సృజన. – సంచ. ]

\*\*\*

శ్రీ జెజ్జాల కృష్ణమోహనరావు గారు బెంగళూరు భారతీయ విజ్ఞాన సంస్థ నుంచి భౌతికశాస్త్రం లో Ph.D. పొందారు. ఇండియాలో భౌతిక శాస్త్ర బోధకులుగా, తరువాత అమెరికాలో జాతీయ కాన్సర్ సంస్థలో పరిశోధకులుగా పనిచేసి విరమించారు. ఛందశాస్త్రములో వీరు జగమెరిగిన నిష్ణాతులు. ప్రస్తుత నివాసం అమెరికా మేరీల్యాండ్ రాష్ట్రంలోని ఫ్రెడెరిక్ పట్టణంలో.





# చీకటిలో నుంచి వెలుగుకి: విద్యుత్తు పాత్ర

శ్రీ గాడేపల్లి సుబ్రహ్మణ్యం

ప్రకృతి పై ఆధిపత్యాన్ని సాధించడం కోసమే, మానవుడు నిరంతర ప్రయత్నం చేస్తున్నాడు. చీకటిని పారద్రోలడం, మొదటి కొన్ని ప్రయత్నాలలో ఒకటి అయి ఉంటుంది. వెలుగు సృష్టించడానికి అగ్ని ఆవశ్యకం, అని గుర్తించే ఉంటాడు.

ఆదిమానవుడికి కొరకరాని కొయ్యగా చాలా శతాబ్దాలు నిలిచిన అగ్నిని, కొంత నాగరికత పెరిగిన తరువాత కూడా, తయారు చేయడానికి, అధీనంలోనికి తేవడానికి, నిలవ చేసుకోడానికి ఎంతో ప్రయాసపడాలి వచ్చింది. ఆహారం తయారుకు అగ్ని వాడడం మొదలయినప్పటినుంచీ, వేదకాలంలో కూడా, అగ్నికి ప్రముఖ స్థానం ఇవ్వడానికి కారణం అదే. రెండు కర్రల ఒరిపిడి వల్ల నిప్పు పుట్టించగలం అని తెలిసినా, ఋషులు ఆ ప్రక్రియను సామాన్య మానవుల అందుబాటు నించి దూరంగా ఉంచడానికి దానికి కూడా మంత్రోచ్ఛారణ జోడించి ఒక ప్రత్యేక స్థానం కల్పించారు. అలా చెయ్యడానికి కారణం, అగ్ని మంచి సేవకుడే కాని, అదుపు తప్పితే దుర్మార్గుడయిన యజమాని అవుతాడని తెలుసుకున్న సత్యమేమో! చెకుముకి రాయీ అదే పని చేస్తుందని తెలుసుకున్న తరువాత మంత్ర ప్రభావం లేదని తెలిసిపోయింది. అయినా, అగ్నిపెట్టెలు విరివిగా తయారు చేయడం జరిగిన తరువాతే, అగ్ని, మానవుడి జీవితంలో అప్పటి వరకూ తనకున్న ఉచ్చ స్థానాన్ని కోల్పోయింది.

కాగడా మానవుడు వెలుగు పుట్టించడానికి చేసిన ప్రయత్నం అయి ఉండచ్చు. అడవుల్లో పుట్టే కార్చిచ్చుల్లో మండే ఒక కొమ్మ, రాత్రి పూట కూడా కాంతిని ఇస్తుందన్న సత్యాన్ని గ్రహించి ఉంటాడు. అయితే నిలకడగా నిలిచి వెలుగునిచ్చే ప్రథమ ప్రయత్నం మాత్రం, నిస్సందేహంగా, నూనె దీపం. అందరు మానవులూ, మొదట మాంసాహారులే కదా ! జంతువులు చర్మాల కింది భాగంలో ఉండే కొవ్వు, దీపాలకు ప్రథమ ఇంధనంగా వాడి ఉండవచ్చు. అది చలికి గడ్డ కడుతూ ఉంటే వృక్షాలనించి వచ్చే నూనె, దాని కంటే ఉపయోగించేదిగా తోచి, ఉండచ్చు. అది వెలిగించడానికి కావలసినది వత్తి. వత్తి తయారీకి పత్తి కావాలి. పత్తి ఒక మొక్కకు కాస్తుంది. ఆ మొక్కలు పెంచాలి. ఆ పత్తిని కాయనించి వేరు చేసి, దానితోపాటు ఉండే గింజను తీసి, ఒక వత్తిగా తయారు చేయాలి. త్వరగా కాలిపోకుండా కొద్దిగా బూడిద వాడాలి. నూనె కావాలి. నూనె ప్రకృతి సిద్ధంగా ఆ రూపంలో ఉండదు. నూనె గింజలను పండించాలి. వాటిని మొక్కనించి విడదీసి, పొట్టు తీసి, ఆరబెట్టి గానుగ ఆడాలి.

గానుగ అంటే ఏమిటో తెలిసిన ఈ కాలపు పిల్లలు బహుశ: ఉండరేమో! అది అనాదిగా వాడబడే పూర్తిగా కర్రతో చేయబడిన ఒక యంత్రం. ఒక లావయిన గట్టి కర్ర రాటుని ఏటవాలుగా నేలలో కదలకుండా పాతిపెట్టిన ఇంకొక డొల్లగా చేసిన లావుగా ఉండే కట్టె, కన్నంలో పెడతారు. ఒక తాడుతో ఆ కర్రని ఒక ఎద్దు భుజానికి తగిలిస్తారు. ఆ ఎద్దు గానుగ చుట్టూ నడుస్తూ ఉంటుంది. అప్పుడు కర్ర తిరుగుతూ, కదలకుండా ఉండే డొల్లలో రాసుకుంటూ ఉంటుంది. వాటి మధ్య ఉన్న ఖాళీలో నూనె గింజలు వేస్తూ ఉంటారు. అవి నొక్కుకుని, వాటిలో ఉండే నూనె, బయటకు వస్తుంది. దాన్ని దిగువన ఒక పాత్రలో పడతారు. ఈ గానుగకు శక్తినిచ్చేది ఎద్దు. ఆ ఎద్దు గుండ్రంగా చుట్టూ తిరగడంవలన కళ్ళు తిరిగి ఉక్కిరిబిక్కిరి కాకుండా ఉండడానికి, కళ్ళకి గంత కడతారు. గానుగెద్దు అనే సామెత

అందువలననే వచ్చింది. ఒకే పనిని, నిరంతరంగా చేస్తూ, ఇంకెవరినీ పట్టించుకోకుండా ఉండేవారిని అలా అంటారు. ఆ గానుగ యంత్రం తయారీకి ఎంతమంది, ఎన్ని అగచాట్లు పడ్డారో !

నూనె దీపం వెలిగి కొంతసేపు ఉంచడానికి, ఆ మాత్రం నూనె నిలవ చేయడానికి కొంచెం లోతుగా ఉండే ఒక పాత్ర, ఒక వత్తి కావాలి. ఆ పాత్ర, ఆ వత్తి కాలినప్పుడు వెలువడే వేడిని తట్టుకునే పదార్థంతో చెయ్యాలి. మొదట లోహాల తయారీ చేయక ముందు, చిన్న పెద్దా పాత్రలు తయారు చేయడానికి మట్టిని వాడేవారుగా. బంకమట్టితో లోతుగా ఉండే మూకుడు చేసి ఉంటారు. తరవాత, చిన్న ప్రమిదలుగా చేసి, పచ్చివి కాకుండా, కాలిస్తే, నూనె పీల్చుకుండా ఉంటాయని తెలుసుకున్నారు. లోహాలయిన ఇనుమూ, రాగి, ఇత్తడి, కంచూ దీపాలు చేసి ఉంటారు.

నూనె దీపాలతో వెలుగు సృష్టించి ఆ వెలుగులో కొన్నయినా పనులు చేసుకునే వెసులుబాటు వచ్చాక, చాలా యేళ్ళు అవే వాడేవారు. పెట్రోలియం ఉత్పత్తులు అందుబాటులోకి వచ్చేంతవరకూ, వాటితోటే జీవనం గడిచింది.

బొగ్గు నించి వాయువును (కోల్ గాస్) తీసి, దానితో దీపాలు వెలిగించే పద్ధతి మొదటగా స్కాటిష్ ఇంజనీర్ విలియం ముర్డాక్ 1792 లో కనుగొన్నారు. అప్పటినుండి, ఇళ్ళల్లో, వీధుల్లో కూడా దీపాలు ఆ వాయువుతో వెలిగించి, రాత్రిని చాలావరకూ పగలు చేయగలిగారు, శాస్త్రజ్ఞులు. నూనె దీపాల తరవాత వెలుగునివ్వడానికి పెద్ద ఎత్తున వాడిన ఇంధనం ఇదే.

కిరసనాయిలు తయారీ మొదలు పెట్టాక, మొదట, బుడ్డిదీపం, తరవాత లాంతరు, ఎక్కువ కాలానిచ్చే పెట్రోమాక్యు దీపాలూ వచ్చాయి. గాజు చిమ్మీలు తయారు చేసి, వీటి వలన, వెలుగుకు అడ్డం లేకుండా గాలికి తట్టుకుని ఆరకుండా ఇటువంటి దీపాలు నిలిచేందుకు సావకాశం ఏర్పడింది.

## విద్యుత్తు పాత్ర

విద్యుత్తు పూర్తి ఉపయోగాలు తెలియక ముందే దాని తయారీ పద్ధతి కనుక్కోవడం జరిగింది.

విద్యుత్తు వలన వేడి తయారవుతుంది. ఆ వేడి స్థాయి ఎక్కువవుతే వెలుగుగా మారుతుంది. ఎడిసన్ విద్యుత్తు నించి ఇలా వెలుగు తయారు చేయడానికి బల్బు తయారు చేయగలిగాడు. కాని దానిలో వెలిగే ఫిలమెంటు పదార్థం కోసం ఎన్ని రకాలయిన లోహాలనూ, అలోహాలనూ ప్రయత్నం చేశాడో, అదొక పెద్ద చరిత్ర. చివరికి టంగ్ స్టన్ లోహం ఎక్కువ కాలాని ఇచ్చి, ఎక్కువ కాలం మన్నుతుందని కనిపెట్టారు. ఈ రకమయిన విద్యుద్దీపాలే చాలా రోజులు రాజ్యమేలాయి.

కానీ, వేడితో సంబంధం లేకుండానే వెలుగుని పుట్టించడానికి, శాస్త్రజ్ఞులు పద్ధతులు కనుగొన్నారు. మిణుగురు పురుగులు తయారుచేసే వెలుగుకు అగ్నికి సంబంధం లేదని తెలిసినప్పటి నుండి, అటువంటి వెలుగుని సృష్టించడానికి ప్రయత్నాలు జరిగాయి. ఫ్లోరసెంటు ట్యూబ్ లైట్లు, మెర్క్యూరీ వేపర్ దీపాలూ, ఆ విధంగానే ఆవిష్కరింపబడ్డాయి. తరవాత, ఎల్.యూ.డీ బల్బులను కనుగొన్నారు. వాటిలో వేడి వలన వెలుగు తయారవకపోయినా, అవి వెలుగుతున్నప్పుడు, వేడి కూడా తయారవుతుంది. విద్యుత్తు వలన వెలుగు వస్తుంది.

కానీ విద్యుత్తు తయారీకి మామూలు పద్ధతులలో అగ్ని కావాలిగా! నేరుగా వెలుగు నించి విద్యుత్తు తయారు చేయడానికి ఫోటో వోల్టాయిక్ సెల్స్ కనిపెట్టాక, అగ్ని అవసరం లేకుండానే విద్యుత్తు తయారు చేయగలుగుతున్నారు. సూర్య గోళంలో ముందు అగ్ని తయారయి, దాని తరవాతే వెలుగు తయారవుతుంది, ఆ వెలుగును ఈ పద్ధతిలో విద్యుత్తుగా మార్చి, వేడి లేకుండానే విద్యుత్తు భూమి పైన సౌర ఫలకాల ద్వారా తయారు చేయగలుగుతున్నాము. ఈ ప్రక్రియ నిజంగా ఒక గొప్ప ఆవిష్కరణ. అంతకు ముందు, రసాయనాలు వాడి విద్యుత్తును పుట్టించవచ్చని తెలుసుకున్నారు, దానికోసం సుమారు రెండు శతాబ్దాల క్రితమే విద్యుత్ ఘటాల తయారీ చేపట్టారు. క్రమంగా బొగ్గుతో నీటిని వేడిచేసి వచ్చే వేడి ఆవిరితో టర్బైను తిప్పారు. ఆ టర్బైనుకు అనుసంధానం చేసిన విద్యుత్తుత్పాదక యంత్రం నడిపి తద్వారా విద్యుత్తు ఉత్పత్తి తక్కువ ఖర్చు అవడం వలన ఆ మార్గంలోనే విద్యుత్తు తయారీ చాలాకాలం జరిగింది. తరవాత కనిపెట్టిన, భూమిలో నిక్షిప్తమయిన పెట్రోలియంమూ, ఎక్కువ సేపు నిలకడగా కాలుతుంది కాబట్టి ఆ పేరుతో పిలవబడే 'రాక్షసి బొగ్గు' వలననే ప్రపంచంలో ఎక్కువ విద్యుత్తు తయారీ అవుతోంది.

ఈ భూగర్భంలో మాత్రమే దొరికే, శిలాజ ఇంధనాలు, తరిగిపోయి, ఇంకో వంద సంవత్సరాలలో నిండుకుంటాయని ఎప్పటికప్పుడు శాస్త్రజ్ఞుల అంచనా. ఎత్తు నించి కిందకు దూకే నీరూ, అణు ఇంధనాలూ, భూగర్భ ఉష్ణమూ, సముద్రపు ఆటుపోట్లూ, గాలి, ఇటువంటి వాటి ద్వారా కూడా గణనీయంగా విద్యుత్తు తయారీ జరుగుతోంది. ఇన్ని మార్గాలు ఉన్నా, విద్యుచ్ఛక్తి, పెరుగుతున్న అవసరాలకు సరిపోవడం లేదు.

అయితే శిలాజ ఇంధనాలయిన, పెట్రోలియం, రాక్షసి బొగ్గా, లభ్యత కొన్ని దేశాలకే పరిమితం. అదీ కాక వాటి వలన వెలువడే బొగ్గుపులుసు వాయువు కారణంగా వాతావరణ కాలుష్యమూ ఎక్కువే. భూ ఉష్ణోగ్రతలు కూడా పెరుగుతున్నాయని పర్యావరణ శాస్త్రవేత్తలు గగ్గోలు పెడుతున్నారు.

బొగ్గు పులుసు వాయువు తయారు కాకపోయినా, అణు విద్యుత్తు తయారీ కూడా వేడి నీటి ఆవిరి మార్గంలోనే అవుతుంది. అయితే, దీని బలహీనత, అణుధార్మిక ఆపద పొంచి ఉండడం. ఒక్క జలవిద్యుత్తు మాత్రం నీటి ఆవిరితో. బొగ్గు పులుసు వాయువు వెలువడకుండానే తయారవుతుంది. కాని ఈ పద్ధతికి వర్షాలూ కావాలి. నీటిని నిలవ చేయడానికి నదుల ఒడ్డులో, సారవంతమయిన భూమిని ముంచేస్తూ, చాలా ఖర్చుతో కూడిన జలాశయాలు కల్పించాలి.

చిన్న అవసరాలయిన, బేటరీ లైట్లు, గోడ గడియారాలూ, మొబైలు ఫోన్లూ, రిమోట్లలో వాడే బేటరీలలో రసాయన విద్యుత్తు ఎప్పటికప్పుడు తయారు చేస్తున్నాము. విద్యుత్తును నిలవ చేసేందుకు మాత్రం రసాయన బేటరీ తప్ప గత్యంతరం లేదు. కెపాసిటర్లు విద్యుత్తుని, విద్యుత్తుగానే నిలవ చేయగలవు కాని, లిథియం బ్యాటరీలు అధిక సాంద్రతతో సూపర్ కెపాసిటర్ల కన్నా 10 నుండి 50 రేట్లు ఎక్కువ విద్యుత్తును నిలవ చేయగలవు గనక కెపాసిటర్లు ప్రాచుర్యం లోకి రాలేదు. పైగా వాటంత అవే రోజుకు 10-15% చార్జిను కోల్పోతూ (డిశ్చార్జ్) ఉంటాయి, అది మరొక కారణం.

సూర్యుడిలో శక్తి విపరీతంగా తయారయి, ఆ అగ్ని గోళం వెలుగులు విరజిమ్ముతుంది. ఆ వెలుగే మనకు జీవనాధారం. ఉష్ణ శక్తి కూడా అవసరమయినప్పటికీ, సౌర్య రశ్మి ఒక్కదాని వల్లనే, కిరణ జన్య సంయోగ క్రియ జరిగి, చెట్లూ చేమలూ పెరిగి, జీవులకు కావలసిన ఆహారం తయారు చేయగలుగుతున్నాయి. సూర్యుడు ఉండేంతవరకూ వెలుగు కోసం వెంపర్లాడాల్సిన పని ఉండదు కాబట్టి, మానవుడు, తన కార్య కలాపాలన్నిటినీ పగలే పూర్తి చేసుకుని, సాయంసమయానికి, గూటికి, అది గుహ అయినా, గుడిసె అయినా చేరుకునేవాడు. కొన్ని అసంపూర్తిగా మిగిలిపోయిన పనులు చేసుకోడానికి, అంధకారం అడ్డు పడేది.

అయితే ఒకటి మాత్రం నమ్మాలి. అంధకారం తొలగించడానికి అయే ఖర్చు, ఏటికేడాదీ పెరుగుతోంది. ఎల్.ఈ.డి. ల వాడకం వల్ల విద్యుత్ వాడకం తగ్గినప్పటికీ, తయారీ ఖర్చు పెరుగుతున్నందువలన, ఆ ఆదా కనిపించకుండా పోయింది.

పునరుత్పాదక ఇంధనాలు వాడుతూ, పెరుగుతున్న ధరనూ, వాతావరణ ఉష్ణోగ్రతలనూ తగ్గించడానికి ముమ్మరంగా ప్రయత్నమయితే సాగుతోంది.

సౌర శక్తి విషయానికొస్తే, పగలు దాదాపు పన్నెండు గంటల పైగా సూర్య రశ్మితోనే మన పనులు నిర్వహించుకో గలుగుతున్నాం. అయితే సౌర ఫలకాలను వాడి విద్యుత్తు తయారు చేయడానికి అవసరమయే స్థాయిలో సూర్య కాంతి మాత్రం, ఇండియా వంటి ఉష్ణ దేశాలలో కూడా, రోజుకు అయిదారు గంటలకు మించదు. ఆ వ్యవధిలో కూడా ఆ స్థాయి నిలకడగా ఉండదు. చిన్న మబ్బు అడ్డం వస్తే పడిపోతుంది. పొగమంచూ, వాయు కాలుష్యమూ, కూడా ఇటువంటి హెచ్చుతగ్గులకు కారణం అవుతాయి. ఇది కాక, ఋతుపవనాల కాలంలో, తుఫానులు వచ్చినప్పుడూ, ఈ సౌర ఫలకాల సామర్థ్యం తగ్గిపోతుంది. సూర్యుడు తూర్పున ఉదయించి, భూమి భ్రమణం వలన ఆకాశంలో మారుతున్నట్టు కనిపిస్తూ, పడమరలో అస్తమిస్తే అంధకారం ఆవహిస్తుంది. ఉదయం పని చేయడం ప్రారంభించిన ఆ ఫలకాలు పని చేయవు. పగలు సౌర ఫలకాలు తయారు చేసిన విద్యుత్తును, నిలవ చేసుకునే బేటరీలు లేకపోతే, సౌర శక్తి వినియోగం అంతంత మాత్రమే.

ఏ విధంగా చూసినా, ఏడాదిలో వివిధ దేశాలలో 900 గంటల నుంచి దాదాపు 2300 గంటలు మాత్రమే సౌర విద్యుత్తు తయారీ జరిగే అవకాశం ఉంది. మిగతా సమయంలో సౌర ఫలకాలు పని చేయవు. భూతాపం పెరగడం వలన, సముద్రపు నీరు ఎక్కువ ఆవిరి అయి, ఆ ఆవిరి మేఘాలుగా మారి, వెలుగుని అడ్డుకోడం ముఖ్యమయిన కారణం. అనిశ్చిత, తక్కువ స్థాయి, రోజులో కొద్ది సేపే ఉండే కాల పరిమితి, ఎక్కువగా కావలసిన నేల విస్తీర్ణం, వీటి వాడకానికి అడ్డంకులు కల్పిస్తున్నాయి. తగిన సూర్యరశ్మి పడినప్పుడు

ఉత్పత్తి అయే విద్యుత్తును, నిలవ చేసుకుని, అవసరాలకు వాడుకోవాలి. మూడు నెలలలో పండిన ధాన్యం నించి బియ్యం చేసుకుని సంవత్సరం అంతా తిన్నట్లు అనుకోవచ్చు.

కానీ, శక్తిని నిలవ చేసుకోడం, పదార్థాలను నిలవ చేసుకోడమంత సులువు కాదు. అటువంటి నిలవ వలన ప్రమాదాలు జరిగే అవకాశమూ ఎక్కువే. ఎకరాల కొద్దీ నేల మీద సౌరఫలకాలు ఏర్పరిచి, వాటి వలన ఉత్పత్తయే విద్యుత్తును పెద్ద పెద్ద బేటరీలలో నిలవ చేసి, ఎప్పుడు పడితే అప్పుడు వాడుకోగలగడం, వినడానికి చాలా బాగుంటుంది. కానీ, ఆచరణలో చాలా ఒడుదుడుకులను ఎదుర్కోవాల్సి వస్తుంది. సౌరవిద్యుత్ వ్యవస్థలలో ఎక్కువ ప్రమాదాలు, ఇంతవరకూ, నిలవ బేటరీ విభాగాలలో మాత్రమే జరిగాయి. అలాగే విద్యుత్ ఫలకాలను కలిపే తీగలు తెగినా, తేడా వచ్చినా మరమ్మత్తు చేసేటప్పుడు జాగ్రత్తలు అవసరమవుతాయి.

దీనికి ప్రత్యామ్నాయం లేదా? ఉంది. పూర్వం ప్రతి ఇంటిలోనూ మంచినీటి కోసం నుయ్యి ఉన్నట్లు ఏ ఇంటికి ఆ ఇంటివారు విడిగా, సౌర శక్తి పరికరాలు ఏర్పరచుకోవడం. అలాంటప్పుడు శక్తి నిలవ పరిమాణం తగ్గుతుంది. దాని వలన ప్రమాదాలూ తగ్గుతాయి. ప్రాణనష్టం జరిగే అవకాశాలు బహుతక్కువ. సౌర శక్తి వ్యవస్థలో లోపం ఏర్పడినప్పుడు మొత్తం ప్రజలందరూ ప్రభావితం అవరు. పరికరాల పరిమాణం కూడా చిన్నవయి వాటి నిర్మాణం, సంరక్షణ, మరమ్మత్తు, ఎక్కడకక్కడ జరిగే అవకాశాలుంటాయి.

వీటన్నిటినీ మించి, ఇంకొక ముఖ్య విషయం ఉంది. ఇంగ్లీషు వారు పరిపాలించిన దేశాల్లో, ఇప్పటికీ, విద్యుత్తు వోల్టేజీ, 220 AC వోల్టలు ఉండి, విద్యుత్తు తీగలు పొరపాటున తగిలినప్పుడు మరణాలు సంభవిస్తుంటాయి. ఏ ఇంటికి అక్కడే సౌర శక్తి వ్యవస్థ ఉన్నప్పుడు తక్కువ వోల్టేజీతో DC వ్యవస్థ పెట్టుకుంటే - అంటే 12 వోల్టల డీసీ కానీ, 24 వోల్టల డీసీ కానీ - అటువంటి మరణాలను పూర్తిగా నివారించవచ్చు. తయారీ, నిలవా, వాడకం, ఇవన్నీ ఇంట్లో ఒకేచోట ఉంటే, వాటి నిర్వహణ సులువవుతుంది. ప్రమాదాలకు అవకాశం తగ్గుతుంది. ఏ ఇంటికా ఇంటివారు విద్యుత్ పరంగా స్వతంత్రంగా ఉంటారు గనక ఎక్కడో విద్యుత్ సరఫరాకు అంతరాయం కలిగితే మూకుమ్మడిగా ఒకేసారి, ఒక ప్రాంతంలోని ఇళ్ళకు సరఫరా ఆటంకం జరగదు.

ఇది అలా ఉంచి, మనకు కావలసినంత విద్యుత్తు, మనమే ఎప్పుడు కావలిస్తే అప్పుడు, ఎంత కావాలంటే అంత, శబ్ద కాలుష్యము లేకుండా, వాయు కాలుష్యము జోలికి పోకుండా, వాసనలు వెల్వడకుండా, వ్యర్థ పదార్థాలు తయారయినా, అవి ప్రకృతి సమతూకాన్ని అతలాకుతలం చేయకుండా, అందరికీ అందుబాటులో ఉంటూ, మరీ ఎక్కువ ఖర్చు అవనిది ఏమయినా ఉంటే, ఎంత బాగుంటుంది ! పరిశోధనలు ప్రోత్సహించి, శాస్త్రజ్ఞుల పైన నమ్మకం ఉంచితే, దుస్సాధ్యమేమీ కాదు!

చివరగా ఒక మాట. మనకు ఇప్పుడు సామాన్యంగా అనిపించే ప్రతి పరికరం సృష్టించడానికి ఎంతమంది ఆవిష్కరణలూ, కృషి, సమయం అవసరమయ్యాయో కదా! వాటి ఫలితాలను మాత్రం మనము ఆస్వాదిస్తూ, వారిని తలవనయినా తలవం. ఒక మెట్టు ఎక్కిపోయాక, ఆ మెట్టు సంగతే మరిచిపోరాదు కదా.

\*\*\*

శ్రీ గాడేపల్లి సుబ్రహ్మణ్యం గారు 1958లో విశాఖపట్నం ఏవియన్ కాలేజీ నుంచి రసాయన శాస్త్రంలో బియస్సీ పట్టభద్రులు. కర్నూలు తుంగభద్రా ఇండస్ట్రీస్ లో ఖాద్యతైలాల తయారీలో ఉద్యోగప్రవేశం. అంచెలంచెలుగా ఎదిగి, ఇంకొక కర్మాగారంలో జనరల్ మేనేజరుగా ఉద్యోగ విరమణ. ప్రస్తుత నివాసం ఆంధ్రప్రదేశ్ లోని విజయనగరంలో. అక్కడ తమ ఇంట్లోని ప్రయోగశాలలో మెగ్నీషియం బ్యాటరీల నుంచి శక్తి ఉత్పాదకత పై పరిశోధనలు చేస్తున్నారు. సాంకేతిక విజ్ఞానాన్ని ఉపయోగించి జీవితం చక్కదిద్దాలనే అన్వేషణాత్మక ధ్యేయం వీరిది.



ఈ సంచిక పై మీ అభిప్రాయం తెలియజేయండి.

తర్వాతి సంచిక మూడవది మార్చి 1న.  
మీ రచనలను జనవరి 31 లోగా మాకు పంపించండి.

మా ఈమెయిల్:

[teluguvbharati@gmail.com](mailto:teluguvbharati@gmail.com)

ధన్యవాదాలు.

\*\*\*